

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s) : Tadashi ISHIKAWA et al.  
Serial No. : 10/576,224  
Filing Date : April 13, 2006  
For : LARGE-HEAT-INPUT BUTT WELDED JOINTS HAVING  
EXCELLENT BRITTLE FRACTURE RESISTANCE  
Examiner : Jason L. Savage  
Group Art Unit : 1794  
Confirmation No. : 9443

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**DECLARATION UNDER 37 C.F.R. §1.132**

I, Tadashi Ishikawa, hereby declare and state as follows:

1. I am a co-inventor of the above-identified patent application, which has been assigned to Nippon Steel Corporation, Tokyo, Japan. I have been employed by Nippon Steel Corporation since 1980, and my current positions are Head, Chief Researcher, and General Manager of Plate, Pipe, Tube and Shape Research Laboratories; and General Managers of Plate Division, and Pipe and Tube Division. I'm also a visiting professor of mechanical engineering at Nagasaki Institute of Applied Science, Japan, and a Fellow of the Japan Welding Society. I graduated from Cambridge University, United Kingdom, with a Ph.D. degree in Materials Science & Metallurgy, Physics & Chemistry in 1990.

2. I have reviewed the Office Action mailed April 29, 2009, the Advisory Action mailed December 23, 2009, and the reference cited therein, *i.e.*, JP2001-73071 ("Yoshiyuki") in view of JP3-153828 ("Shigeru"), JP2001-001148 ("Tomomasa"), and JP 2002-161329 ("Hasegawa"). I have also reviewed the specification and the pending claims of the present application.

3. I understand that the Examiner is of the opinion that (i) Yoshiyuki discloses a welded joint of thick steel plates of 50 mm or more, and that although Yoshiyuki discloses that the difference between the hardness of the heat affected zone (HAZ) and the base metal is small, it is known in the art to regulate a small hardness difference between the weld metal and HAZ; (ii) Shigeru or Tomomasa discloses limiting the thickness of the welded portion to much smaller than the thickness of the plates; and (iii) Hasegawa discloses a grain size of prior austenite in the HAZ of not more than 200 micrometers.

4. The present invention provides a large-heat-input butt-welded joint of high strength steel plates over 50 mm in thickness. In the welded joint of the invention, the hardness of the weld metal is controlled to 70% to 110% of the hardness of the base metal. As is understood in the art, "large-heat-input welding" refers to a welding process having a heat input of at least about 50 kJ/cm, whereas "small-heat-input welding" refers to a welding process having a heat input of about 50 or less kJ/cm. For example, according to Structural Steel by Shuzou Ueda, published in 1987 by Corporation of Japanese Steel Association,

[w]elding heat-input, H.I.(kJ/cm) is a function of welding  
current  $I$  (A), arc voltage  $E$ (V) and welding velocity  
 $v$ (cm/min) and expressed as  $H.I.=60 \times I \times E/v$ . It is often called  
large heat-input in case heat-input is not less than 50,000J/cm

(p. 53, Footnote\*1; copy attached herewith as Exhibit A). Fig. 5.3.2 of New Structural Steel Plate and Its Property, published in 1981 by Japanese Structural Steel Association (ISSC), also shows heat-input which distinguishes the  $v$ Trs of the bonding part of the large heat-input welding steel from that of the general steel is about 50 kJ/cm (p. 113, Fig. 5.3.2; copy attached herewith as Exhibit B). A translation of Fig. 5.3.2 is provided below:

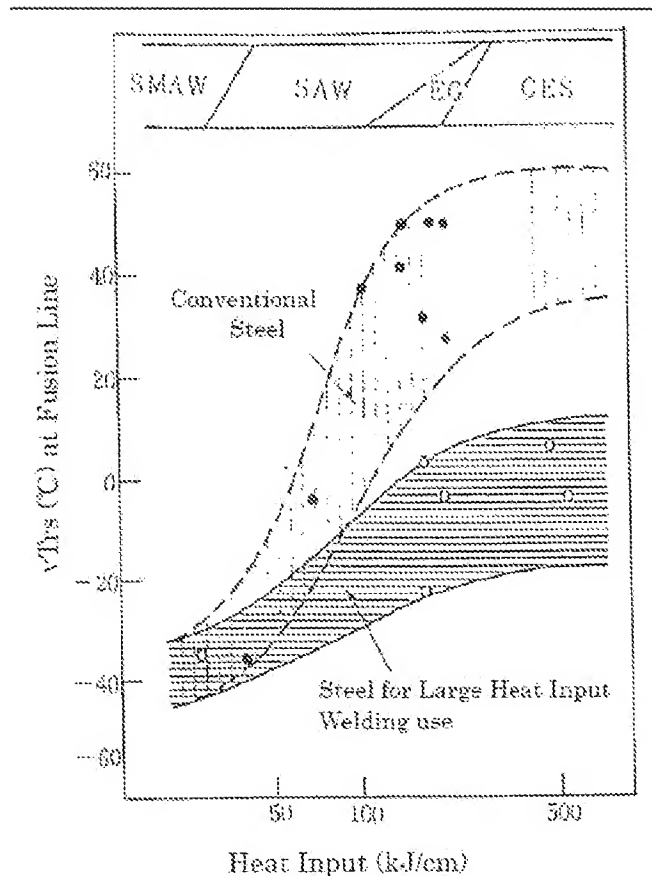


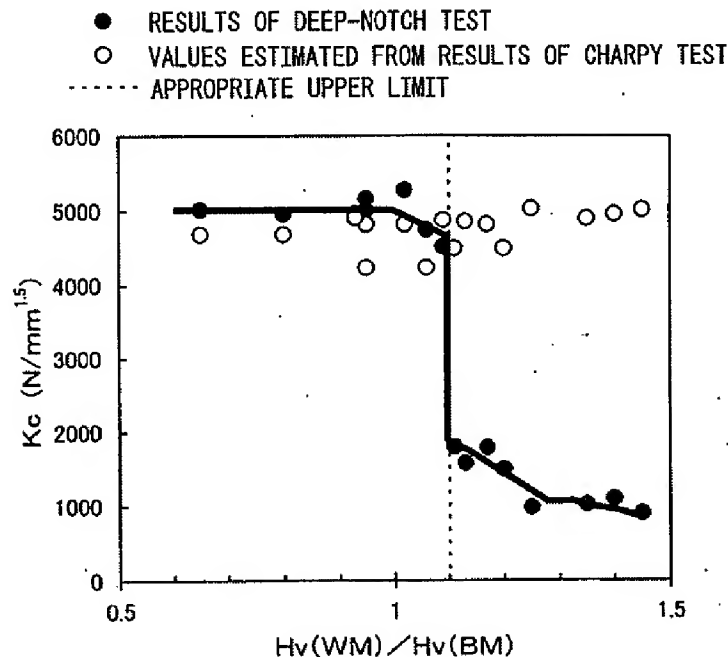
Fig. 5.3.2. The relation between heat-input and  $vTrs$  of bonding part for HT-50 having yield stress of  $32 \text{ kgf/mm}^2$

Thus, a person of ordinary skill in the art would understand that the border of heat-input between large heat-input welding and small heat-input welding is about 50 kJ/cm.

In small-heat-input welding, cooling of the welded joint is fast, resulting in rapid hardening of the HAZ. In contrast, in large-heat-input welding, cooling of the welded joint is much slower. As a result, the HAZ in a welded joint produced by large-heat-input welding has a coarser micro-structure as compared to the HAZ in a welded joint produced by small-heat-input welding, leading to a lower HAZ hardness. My co-inventors and I have discovered that conventional large-heat-input welded joints of high strength steel plates of over 50 mm in thickness suffers from low fracture toughness despite having excellent Charpy values. After intensive investigation, we have discovered that the low fracture toughness is due in part to local stress caused by the hardness difference between the weld metal and the

base metal, with higher local stress for higher hardness of the weld metal. We have also discovered that fracture resistance can be significantly improved by controlling, *inter alia*, the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal. The criticality of controlling the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal can be seen from Figure 1 of the application, which is reproduced below. As Figure 1 shows, fracture toughness  $K_{Ic}$  drops sharply when the hardness of the weld metal reaches 110% of the hardness of the base metal.

Fig. 1



5. The primary reference, Yoshiyuki, discloses a steel composition devised to provide a base metal that softens only marginally when affected by the weld heat resulting in a small hardness difference between the base metal and the HAZ, thereby improving the fatigue strength and reducing the occurrence of stress-corrosion-cracking. However, Yoshiyuki does not disclose a high strength steel plate of 50 mm thick or more or producing a welded joint using large-heat-input welding. Nor does Yoshiyuki disclose the low fracture toughness problem associated with a conventional large-heat-input welded joint of high strength steel plates over 50 mm in thickness, or controlling, *inter alia*, the hardness of the

weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal to achieve excellent brittle fracture resistance.

Regarding steel plate thickness, Yoshiyuki discloses in ¶ [0037] that

for the steel plate of 50 mm or less of board thickness the JIS No. 5 test piece is used for tensile test to a rolling direction and rectangular direction, for the steel plate of 50 mm or more of board thickness the JIS No. 4 round bar test piece which is extracted from ¼ board thickness position is used for tensile test.

As shown in Table 2 on page 438 of Japanese Industrial Standard JIS Z2201:1998, entitled “Test Pieces for Tensile Test for Metallic Material” (copy attached herewith as Exhibit C), a No. 5 test piece is used for a material of 6 mm up to and including 20 mm in thickness, and a No. 4 test piece is used for a material of 20 mm up to and including 40 mm in thickness. Accordingly, a person skilled in the art would have recognized that the reference in ¶ [0037] to “50 mm” is an error, which should be “20 mm” instead. The fact that all examples in Yoshiyuki have a thickness of 50 mm or less further supports this conclusion.

Regarding welding heat input, Yoshiyuki discloses that

in order to investigate the hardness difference of a heat affected zone and a base material, it is based on the maximum hardness test method of the heat affected zone specified to JIS Z3101.

According to Section 3.6 on page 2 of Japanese Industrial Standard JIS Z3101-1972, entitled “Testing Method of Maximum Hardness in Weld Heat-Affected-Zone” (copy attached herewith as Exhibit D), “the welding condition shall, as a rule, conform to the following: welding current  $170 \pm 10$  A, welding speed  $15 \pm 1$  cm/min.” Although JIS Z3101 does not explicitly describe welding voltage, it is well known to a person skilled in the art that the welding voltage is 250 V. Therefore, the welding heat input in Yoshiyuki is 17 kJ/cm, which is small-heat-input welding.

The structural difference between the welded joints of Yoshiyuki and the present invention as a result of factors such as the difference in welding heat input can be seen clearly by a comparison of the hardness of the HAZ. In Yoshiyuki’s welded joint, the hardness of the HAZ is similar to the hardness of the base metal, as shown by the experimental data presented in Table 3 of Yoshiyuki. A partial translation of Table 3 is shown below:

Partial translation of Table 3 of Yoshiyuki

steel		thickness (mm)	base metal hardness	HAZ hardness	
				maximum value	minimum value
I n v e n t i o n	1	25	222	214	228
	2	20	231	225	233
	3	40	227	221	236
	4	25	242	236	244
	5	32	241	235	247
	6	50	217	214	225
	7	25	229	222	231

In contrast, as can be seen from the table below, which provides hardness data of HAZ for the examples listed in Table 1 of the present application, in the large-heat-input welded joint of the present invention, due to HAZ softening, the hardness of the HAZ (see, the column identified by heading Hv(HAZmin)) is much lower than the hardness of the base metal (see, the column identified by heading Hv(BM)).

No.1	Hv(BM)	Hv(YM)	Hv(YM)/ Hv(BM)	Width of Softened Region in HAZ	Hv(HAZmin)	Difference in Hv between BM and HAZ	Difference in Hv between HAZ and YM	Hvmax at Welded Joint (Hardest Location)
1	202	212	1.05	12	161	41	51	212(YM)
2	204	200	0.98	15	150	54	50	204(BM)
3	210	151	0.72	13	170	40	19	210(BM)
4	205	226	1.10	15	152	53	74	226(YM)
5	175	186	1.06	18	152	23	34	186(YM)
6	215	204	0.95	16	170	45	34	215(BM)
7	210	208	0.99	7	172	38	36	210(BM)
8	200	206	1.03	17	152	48	54	206(YM)
9	195	205	1.05	8	175	20	30	205(YM)
10	210	227	1.08	11	180	30	47	227(YM)
11	204	222	1.09	8	181	23	41	222(YM)
12	183	134	0.73	12	150	33	16	183(BM)
13	210	200	0.95	13	163	47	37	210(BM)
14	210	208	0.99	3	190	20	18	210(BM)
15	205	133	0.65	15	163	42	30	205(BM)
16	220	224	1.02	18	186	34	38	224(YM)
17	215	204	0.95	16	182	33	22	215(BM)
18	202	265	1.31	12	180	22	85	265(YM)
19	204	235	1.15	15	171	33	64	235(YM)
20	210	258	1.23	13	170	40	88	258(YM)
21	204	235	1.15	15	162	42	73	235(YM)
22	210	258	1.23	13	155	55	103	258(YM)

6. None of the secondary references discloses controlling the hardness of the weld metal to no higher than 110% of the hardness of the base metal to achieve excellent brittle fracture resistance in a large-heat-input welded joint of high strength steel plate of 50 mm thick or more. As the table below shows, each of these references discloses welded joints of steel plates of no more than 50 mm thick and/or produced by small-heat-input.

	Shigeru	Tomomasa	Hasegawa
Plate thickness	6-25 mm (table 2)	50 -200 mm ([0042])	45 mm ([0065])
Heat input	15-40 kJ/cm (table 2)	10-40 kJ/cm ([0042])	20 kJ/mm ([0065]) <sup>§</sup>

<sup>§</sup>This heat input corresponds to 200 kJ/cm.

7. Based on the above discussion, it is my opinion that the cited references would not have led one of ordinary skill in the art to the welded joint of the present invention.

\* \* \*

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true, and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code, and that such willful false statements may jeopardize the validity of the patent or any reexamination certificate issued.

Respectfully submitted,

26 May 2010  
Date

Tadashi ISHIKAWA  
Tadashi ISHIKAWA

Enclosures:

Exhibit A  
Exhibit B  
Exhibit C  
Exhibit D



# EXHIBIT A

社団法人  
日本鉄鋼協会  
監修

叢書 | 鉄鋼技術の流れ  
第15シリーズ

⑨

# 構造用鋼の溶接

低合金鋼の諸性質とメタラジー

上田修三 著

地人書館

鋼材はおよそ国産であり、通名な文献でさえ紙数の制限や内容の重複回避のためしばしば割愛されていた。また、学術書であることを意識して、特例の場合を除き、鉄鋼鋼材の商標名や技術の各社特許の名称を用いることを控えている。また、全体的には体裁と用語の統一を図る配慮をしたが、鋼材の強度水準などの呼称や技術データに用いられる単位は、時代時代に用いられていたものを採用する方が混乱が少ないと判断し、過去のものは文脈とおりとし、近年のものは単位SI単位とした。

書き終って見て、歴史学書は「歴史は私たちが選んだ過去へ連れ戻すのではなく、過去を語りながら、現在が未来へ次の道へいく、その先導に支えてくれる」の言葉とおり、鉄鋼材料の歴史ともいえる巻頭メッセーと特許の深遠さに感服し、まだまだ究明すべき事項が多く残され、新製品開発へのプレイクスルーが期待できることを改めて認識した。2010年以降、我が国において高度経済成長期に建造された建造物が40～50年を経てリプレースの時期を迎える。既存建造物の寿命延長のための研究と同時に、高強度で長寿命の、さらには新しい時代に相応しいエコフレンドリーな思想をも反映した環境調和型の新世代建造材料の開発の要請も高まっている。より国産のもの、より新しいもの、より実用なものへの挑戦に当たって、本書を有効にご活用いただければ幸甚である。

なおここで、本書のご査閲を賜った、大阪大学名誉教授 前(社)沼袋学会会長 向井嘉彦氏に厚甚の謝意を表する次第である。

意味で難儀があったが、非常に有意義な仕事を成就することができた。本書執筆の機会を与えていただき、今日まで温かく見守って下さった(株)日本鉄鋼協会専任委員会の各位ならびに本書の査閲する川崎製鉄株式会社日本管産氏に心からお礼申し上げる。

1996年9月

上田修三

本書「鉄鋼技術のあれ」発行にあたって 3

序 5

1. 総論	13
1.1 鋼構造物への溶接適用の歴史	13
1.1.1 鉄・びん結合構造時代——炭素鋼高張力鋼の普及	13
1.1.2 溶接溶接法適用の始まり	14
1.1.3 高張力鋼への溶接の適用	18
1.2 溶接構造適用の研究開発の歩み	24
1.2.1 戦前～戦後期の技術の開発動向	24
1.2.2 社会情勢の変化——鉄鋼業・造船業の発展	29
1.2.3 高度経済成長期以降のわが国の開発動向	42
2. 溶接構造適用の進歩と適用特性	49
2.1 船 舶	49
2.1.1 商船用高張力鋼	49
2.1.2 深海水域耐圧船用高張力鋼	58
2.2 圧力容器・水圧装置	60
2.2.1 圧力容器用高張力鋼	60
2.2.2 水圧装置用高張力鋼	63
2.3 低温容器	72
2.3.1 常圧冷凍式LPGタンク用低温用鋼	72
2.3.2 LNGタンク用9%Ni鋼	77
2.4 橋 梁	84
2.4.1 高張力鋼の適用	84
2.4.2 鋼鉄大橋用TS780 N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	89
2.5 海洋構造物	88
2.5.1 石油掘削・生産用海洋構造物の種類と歴史	88

2.5.2 寒冷・深層構造用高張力強靱鋼	92
2.6 石炭・ガスラインパイプ	109
2.6.1 非調質高張力鋼	109
2.6.2 溶接技術	107
2.7 ボイラおよび石油精製装置用圧力容器	110
2.7.1 ガイドラム用鋼	110
2.7.2 石油精製装置用鋼	114
2.8 建 築	118
2.8.1 高張力鋼と鋼骨の高張力比	118
2.8.2 延性改良 T <sub>5</sub> 490 N/mm <sup>2</sup> 級鋼	120
2.8.3 低降伏比 T <sub>5</sub> 590 N/mm <sup>2</sup> 級鋼	121
2.8.4 長期暴露部暴露による脆化現象の調査	124
2.9 原子炉圧力容器	127
2.9.1 原子炉圧力容器用鋼	127
2.9.2 核燃料棒の腐蝕	129
2.10 ロケットモータケース	132
2.10.1 ロケットの製造と使用鋼種	132
2.10.2 モータケースの腐蝕	137
3. 腐蝕性関連の諸問題究明の歩み	141
3.1 酸化と低湿腐蝕	141
3.1.1 酸化現象と健全度評価式	141
3.1.2 高張力鋼への腐蝕の適用と腐蝕問題	153
3.1.3 低湿腐蝕感受性試験法	157
3.1.4 溶接部の感受性指標	159
3.1.5 低湿腐蝕と応力外力	163
3.1.6 低湿腐蝕と水素環境	167
3.1.7 水素脆化の機構	173
3.1.8 低湿腐蝕と鋼中非金属夹杂物	175
3.1.9 低湿腐蝕と外気湿度	177

3.1.10 低湿腐蝕防止策	179
3.1.11 酸化現象	181
3.2 高温腐蝕	185
3.2.1 高温腐蝕現象	185
3.2.2 発生機構	186
3.2.3 合金元素および不純物元素の影響	189
3.2.4 溶接部力および材料付加応力への影響	193
3.2.5 高温腐蝕防止策	197
3.3 熱 化	200
3.3.1 溶接部の酸化現象	200
3.3.2 溶接部端部の微細組織と脆性	207
3.3.3 溶接部端部のフェライト粒微細化による脆性改善	214
3.3.4 晶状マartenサイト (M.A.) による酸化	224
3.3.5 N, C, S 量の低減と N 量増加の酸化現象	232
3.3.6 溶接熱処理による酸化	241
3.3.7 溶接熱処理による酸化	243
3.4 再熱腐蝕	256
3.4.1 再熱腐蝕現象	256
3.4.2 発生機構	259
3.4.3 感受性指標	265
3.4.4 腐蝕防止策	268
3.4.5 内蔵溶接部のアンダークラッド/クラッキング	270
3.5 溶融 Zn めっき腐蝕	274
3.5.1 高張力鋼のめっき腐蝕現象	274
3.5.2 評価試験法	277
3.5.3 材料因子	278
3.5.4 発生機構	285
3.5.5 腐蝕防止策	281
3.6 局部腐食と応力腐食腐蝕	288
3.6.1 局部腐食現象	288



3.6.2 火力炉食部現象一保安、耐燃性、確信性環境	290
3.6.3 LPGタンク溶接部の確信性能力腐食部	295
3.6.4 ラインパイプ溶接部の確信性能力腐食部	300
3.7 プラスチク	307
3.7.1 プラスチク現象	307
3.7.2 腐食性腐敗	312
3.7.3 溶接試験法	315
3.7.4 プラスチク防止策	317
3.8 クラップ腐蝕	323
3.8.1 クラップ腐蝕現象	323
3.8.2 実機での腐蝕腐敗事故	326
3.8.3 腐蝕腐敗の発生機構	327
3.8.4 腐蝕腐敗と腐蝕腐敗なまし条件の影響	330
3.8.5 腐蝕腐敗のクラップ腐蝕腐敗	333
3.8.6 腐蝕腐敗防止策	334
3.9 ステンレス鋼内溶接部の腐蝕腐敗	338
3.9.1 腐蝕腐敗現象	338
3.9.2 腐蝕腐敗防止策	339
3.10 腐蝕腐敗	342
3.10.1 腐蝕腐敗腐蝕腐敗の腐蝕腐敗	343
3.10.2 腐蝕腐敗腐蝕腐敗	344
4. 溶接部の安全性評価方法の発達	347
4.1 腐蝕腐敗	347
4.1.1 予知腐蝕腐敗腐蝕腐敗の大損腐蝕腐敗と腐蝕腐敗の腐蝕腐敗	347
4.1.2 腐蝕腐敗腐蝕腐敗	348
4.1.3 腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗	352
4.1.4 腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗	360
4.2 不安定腐蝕腐敗	367
4.3 腐蝕腐敗腐蝕腐敗	369

5. 溶接方法の発達	375
5.1 汎用溶接腐蝕腐敗方法と腐蝕腐敗材料	375
5.1.1 板溶接腐蝕腐敗	375
5.1.2 プラスチック溶接腐蝕腐敗	378
5.1.3 サブマージ溶接腐蝕腐敗	379
5.1.4 ティグ、ミグ、CO <sub>2</sub> 、マダ溶接腐蝕腐敗	383
5.1.5 セルフシールド溶接腐蝕腐敗	386
5.1.6 エレクトロslag溶接腐蝕腐敗	387
5.1.7 エレクトロガス溶接腐蝕腐敗	389
5.1.8 高純度溶接腐蝕腐敗	389
5.2 わが国の造船業における溶接腐蝕腐敗の発達	393
5.3 腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗腐蝕腐敗	398
5.3.1 電子ビーム溶接腐蝕腐敗	398
5.3.2 レーザビーム溶接腐蝕腐敗	404
参 考 文 献	414
年表、索引、要目、主要記録の目次一覧	417
表 目 次	418

文 献

- 1) 海軍五十年史編纂委員会編：海軍五十年史，(1992)，p.121【海軍】
- 2) 岡田寛，鈴木彰義：溶接基準第4巻溶接冶金，(1953)，p.160【溶接】
- 3) 小倉信和：圧力技術，21 (1963)，p.198，p.270，p.328
- 4) 丸藤啓吉編：溶接構造要覧，(1989)，p.221【里木出版社】
- 5) 宮野保太郎：日本製鋼技術，(1961)，p.612
- 6) 志賀千景：新しい製造法による鋼材 (TMCP鋼) の溶接構造物への適用に関するシンポジウム，(1989)，p.117，(社)日本造船学会溶接研究委員会】
- 7) J.Tamura, C. Ogata, T. Tanaka and H. Sekine: Thermomechanical Processing of High-Strength Low-Alloy Steels, (1983) [Butterworths]
- 8) 志賀千景：溶接学会誌，66 (1996)，p.310
- 9) 上田修三：鋼構造論文集，1 (1984)，I，p.127
- 10) 野添徳彦，藤田英：圧力技術，15 (1978)，1，p.3
- 11) 土生隆一，宮田政祐，田所隆，関野昌隆：鉄と鋼，64 (1978)，p.1368
- 12) (社)日本造船協会船舶：鉄構海洋構造物部会編：造船の溶接，(1983)，p.37，p.63【(社)日本造船協会】
- 13) 渡辺栄一：第159・160期西山記念技術講座，(1990)，p.189【(社)日本造船協会】
- 14) (社)日本造船協会鋼板部会鋼板分科会共同研究会：第2版わが国における最近の鋼板製造技術の進歩，(1984)，p.272【(社)日本造船協会】
- 15) (社)日本造船学会編：溶接・接合要覧，(1969)，p.870【丸研】

## 2. 溶接構造用鋼の進歩と溶接部特性

### 2.1 船 舶

#### 2.1.1 商船用高張力鋼

##### (1) 商船の大型化と高張力鋼の採用

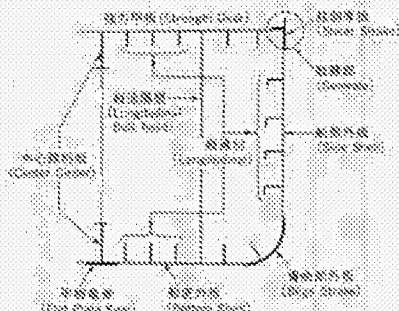
戦後10年が経ち1950年代後半になると、TS 50 kgf/mm<sup>2</sup>級 (HT 50) および 60 kgf/mm<sup>2</sup>級 (HT 60) のそれぞれ非調質および調質高張力鋼板が陸上構造物に広く使用されるようになった。しかし、造船用としては、この頃までに概ねを除けば1936年就航の大西洋航路の豪華客船「クイーン・メアリー号」(英)や「ノルマンディ号」(仏)などに使用されたに過ぎなかった。これらの場合も船体の重心を下げて安定性を向上させるために、デリックポストなどにごく部分的に使用されただけで船体主構造には使用されていなかった。つまり商船は軟鋼でつくられるものであった。ところが1960年代に入って載重量が15万トン以上のタンカーや甲板に開口部のある乾石船など、計算板厚が大きくなる船舶が増え、これらに船体重量の軽減に有利な HT 50 鋼が使用され始めた。1962年にはわが国で世界に先駆けて、船体主構造に高張力鋼板を適用した大型乾石船日丸丸 (4.7万トン) および乾石・油兼用船 SAN JUAN PIONEER (6.7万トン) が建造された。

ちなみに高張力鋼の商船への適用については、①鋼材使用量の減少、②板厚減少に伴う溶接量などの低減、③船荷重量の増加、④安定性の向上、などが利点とされ、⑤軟鋼に比べて高い単価、⑥溶接時の割れ防止のための予熱などの溶接施工管理、⑦疲労強度の点から極力切欠き部を少なくする設計上および工作上的考慮、⑧腐食予備厚さが軟鋼とほぼ同じであるので、所要板厚の比較的

薄い小型の船舶では高張力鋼の使用による板厚の大きな低減は船體、などが實現された。

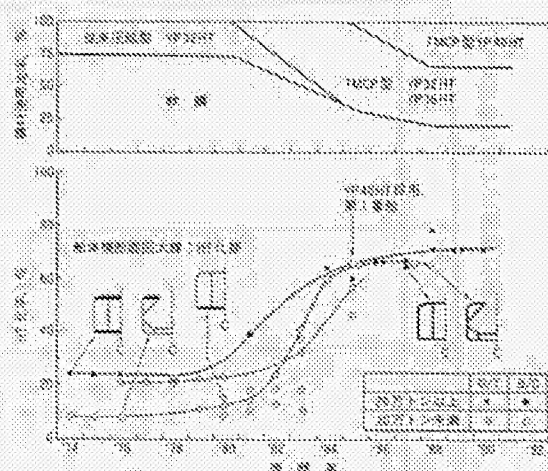
船体構造は自重、浮力、波力などの応力を受ける一種の梁と想定でき、大きな曲げ応力のかかる強度部材の主横材・舷側部材に相当すると考えられた。高張力鋼が船体の場合にまず図2.11に示される甲板部と船底部の縦張部材に適用されたのはもっともである。

1960年代後半には32万トン級のタンカー（D/T）が建造され、バルクキャリア（B/C）の大型化も始まり、高張力鋼が本格的に使用されることになった。1971年には降伏点 $YF$  32 kgf/mm<sup>2</sup>および36 kgf/mm<sup>2</sup>級の2鋼種が国際統一規格として規定された。同年に37万トン級、1973年には40万トン級タンカーが建造される時代となり、高張力鋼が船底鋼板、上甲板鋼板、船底鋼板、縦張部材鋼板、Hatch coaming 材およびこれらの鋼板にとりつけられている縦張スチヤナ材などに広く用いられるようになった。当時25万トン級タンカーでは全鋼材使用量32,000トンの約1/4がHT 36級鋼であった。しかし、1975年頃までの高張力（HT）化率は図2.2で示されるように低く30%以下であった。高張力鋼は溶接割れ感受性が高く溶接施工効率を低下させるので、



【図2.11】 船体各部の鋼材図

※1 2015年の技術進歩を反映し必要があるといわれた。TMCP鋼では従来の高張力鋼で置き換えていた鋼種より、 $YF$  36 kgf/mm<sup>2</sup>級の鋼種が採用され、船底横材・舷側横材の鋼種が変更された。その結果、 $YF$  36 kgf/mm<sup>2</sup>級の鋼種が採用された。その結果、 $YF$  36 kgf/mm<sup>2</sup>級の鋼種が採用された。



【図2.2】 船体構造での高張力鋼（HT）の使用率の推移

HT化が必ずしも船体建造コストの低減につながらなかったことが問題であった。YF 36 kgf/mm<sup>2</sup>級鋼がYF 32 kgf/mm<sup>2</sup>級鋼に比べて使用量が伸びなかったのも同様の理由による。

この図で船体への高張力鋼の使用率が大きく伸びたのは、熱加工新製プロセス TMCP が開発実用化された1980年以降である。1980年代後半にはHT化率はおよそ70%まで上がった。TMCPにより低Ceq化、低P・S化が図られ溶接割れ感受性が図2.3に示されるように著しく改善された。ついでにHT化による溶接施工効率の低下の問題は解消され、HT化が一気に進んだとみられる。船体の重量軽減効果の大きい大型船のみならず、2〜3万トン級のパンデュークのような小型船にも高張力鋼板が使用されるようになった。また上甲板やHatch coaming 部などの強度部材としてはYF 32 kgf/mm<sup>2</sup>級鋼が替わって、TMCP 型YF 36 kgf/mm<sup>2</sup>級鋼、さらに1985年以降TMCP 型YF 40 kgf/mm<sup>2</sup>級鋼が使用されるに至った。図2.2に示されるように1980年代後半







季の上向き隅内造形部で発生する低周波割れを回避（ブランクフリー化）するための方法として、鋼板の低 $C_{eq}$ 化が図られ、ついでには換ならし後の加速冷却やSlack quenchといった熱処理技術で鋼材強度を補償することが試みられていた。材質の均一性や歪の問題、さらに造船材にふさわしい経済的プロセスといった点で困難が多かった。一方ラインパイプ鋼で威力を発揮する熱延圧延(CR)技術の造船材への応用については、造船材が産業鋼であるがゆえに、CRが圧延効率を低下させるプロセスであることや無理な強度が圧延機とくくハガジンの寿命を短くすることなど多くの問題点が指摘された。しかし造船材にとってCR技術の魅力は大きく、圧延機能力の余裕を見出して1970年代中頃には次第にCR製造船材が増加した。この場合にとられた新しい構成設計、すなわち $C_{eq}$ の低減は図2-3にみられる低周波割れ抑制に寄与するばかりでなく、大人熱溶接熱影響部の靱性をも向上させるものであった。しかし筆者についての成果は満足なものではなく、1970年代に入るとエレクトロスラッグ溶接をも含む大人熱溶接熱影響部の組織と靱性に関する基礎的研究が活発に行われた。組織設計の利用や炭素当量 $C_{eq}$ と $C_{eq}$ の複合添加によりJAZの組織を細粒化し靱性を確保した新製品が開発され実用化された。従来鋼の靱性範囲と新材料の安全性評価については当時長年にわたって（社）日本造船研究協会に組織された学識経験者、造船会社、製鉄会社などの技術者からなる委員会（通称SR委員会）で討論された。破壊靱性の観点から新製品の優秀性が確認された初期のものであった。

なお大人熱溶接用鋼に関する具体的な研究内容については、3.1.3項に詳述している。製鉄会社による大人熱溶接に耐える船体用高強度鋼の特許を得た製品化により、我が国の造船会社では高強度鋼の大幅な採用と施工の高効率化が進んだ。1980年代以降のJAZP技術の登場がさらなる $C_{eq}$ の低減を可能にして、図2-3に示す割れ発生性の改善に加えて大人熱溶接部の靱性の向上に貢献をもたらしたといえる（JIS S 502（2）参照）。今日、日本海事協会規格として

YS 380 N/mm<sup>2</sup> 保形鋼 KA 40 ~ KF 40（表4.4参照）が定められ汎用されている<sup>\*)</sup>。

### 2.1.2 深海潜水艇用圧力殻用高強度鋼

1960年代に入ってから我が国では深海開発を遂行するための宇宙開発と並ぶ一大科学事業と位置づけ、無尽蔵の鉱物ならびに水産資源を開発するにあたって、まず1964年資源開発省深淵調査船「よみうり号」（巡航深度200 m、排水量35トン）が、続いて1966年大陸棚開発用潜水調査船「しんかい」（巡航深度600 m、排水量35トン）が建造された<sup>\*)</sup>。

潜水艇の耐圧殻材料には、①大きき外圧と浮力の関係から浮力に対する船体重量の比を強力へさく、材料としては比強度すなわち降伏点/比重が大きいこと、②海水環境での応力腐食抵抗が大きいこと、③靱性が高いこと、④低サイクル疲労強度が高いこと、などの靱性が求められる。前記の2船には①~④を兼ねた潜水艇などで実績の多い防衛庁規格 NS 45 鋼板（1960年開発の YP 45 kgf/mm<sup>2</sup> 規格の YS 60 kgf/mm<sup>2</sup> 鋼鋼板高強度鋼）が使用された<sup>\*)</sup>。

本国では1964年建造の潜水深度120 m の HY 100 鋼（ALVIN）、1966年建造の潜水深度1300 m の HY 140 鋼（DSRV）（潜水艇救難艇）および1967年建造の潜水深度2400 m の18 55 N<sup>2</sup> フルエージング鋼（DEEP QUEST）が有名である<sup>\*)</sup>。

ここで HY 100 および HY 140 はそれぞれ YS100 kgf および 140 kgf 保証の高降伏点鋼であり、1958年から実用されるようになった HY 80 や後年開発された HY 130 と呼ばれる鋼種とともに本国の新機軸船用高強度鋼である。いわゆる Emergency Use または Arresting Use の考え方に基づき、高い降伏点に加えて低温での高い切欠き靱性を兼ねている。我が国でのこれらに相当する鋼種には、戦後の最初の潜水艇「おやしお」に採用された YS 30 に始まり、前記の NS 45、これより高強度の鋼材では1967年から実用の NS 63、1975年から実用の NS 80、さらに1981年に完成された2000 m 級高度学術調査用深潜潜水艇「しんかい 2000」に実用の YS 90 がある<sup>\*)</sup>。また現在 YS

\*) 1) 社団法人深淵調査協会、東京14 研究所「深海調査船「しんかい」の大人熱溶接部での靱性改善技術開発に関する研究」(1993 ~ 1995 年度)。

2) 同上、東京14 研究所「JAZP 技術と大人熱溶接部での靱性改善技術」の報告（調査に関する研究）(1994 ~ 1995 年度)。

3) 同上、東京14 研究所「JAZP 技術と大人熱溶接部での靱性改善技術に関する研究」(1993 ~ 1995 年度)。

\*) 1) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、2) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、3) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、4) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、5) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、6) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、7) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、8) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、9) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、10) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、11) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、12) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、13) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、14) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、15) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、16) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、17) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、18) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、19) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、20) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、21) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、22) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、23) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、24) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、25) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、26) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、27) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、28) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、29) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、30) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、31) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、32) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、33) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、34) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、35) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、36) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、37) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、38) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、39) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、40) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、41) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、42) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、43) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、44) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、45) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、46) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、47) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、48) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、49) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、50) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、51) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、52) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、53) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、54) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、55) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、56) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、57) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、58) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、59) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、60) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、61) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、62) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、63) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、64) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、65) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、66) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、67) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、68) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、69) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、70) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、71) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、72) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、73) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、74) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、75) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、76) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、77) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、78) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、79) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、80) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、81) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、82) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、83) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、84) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、85) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、86) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、87) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、88) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、89) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、90) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、91) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、92) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、93) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、94) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、95) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、96) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、97) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、98) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、99) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、100) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、101) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、102) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、103) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、104) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、105) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、106) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、107) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、108) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、109) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、110) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、111) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、112) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、113) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、114) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、115) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、116) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、117) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、118) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、119) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、120) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、121) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、122) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、123) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、124) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、125) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、126) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、127) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、128) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、129) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、130) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、131) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、132) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、133) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、134) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、135) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、136) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、137) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、138) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、139) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、140) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、141) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、142) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、143) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、144) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、145) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、146) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、147) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、148) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、149) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、150) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、151) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、152) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、153) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、154) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、155) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、156) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、157) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、158) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、159) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、160) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、161) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、162) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、163) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、164) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、165) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、166) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、167) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、168) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、169) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、170) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、171) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、172) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、173) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、174) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、175) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、176) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、177) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、178) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、179) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、180) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、181) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、182) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、183) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、184) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、185) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、186) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、187) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、188) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、189) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、190) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、191) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、192) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、193) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、194) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、195) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、196) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、197) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、198) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、199) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、200) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、201) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、202) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、203) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、204) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、205) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、206) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、207) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、208) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、209) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、210) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、211) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、212) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、213) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、214) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、215) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、216) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、217) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、218) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、219) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、220) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、221) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、222) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、223) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、224) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、225) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、226) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、227) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、228) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、229) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、230) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、231) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、232) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、233) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、234) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、235) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、236) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、237) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、238) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、239) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、240) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、241) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、242) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、243) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、244) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、245) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、246) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、247) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、248) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、249) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、250) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、251) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、252) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、253) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、254) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、255) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、256) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、257) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、258) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、259) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、260) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、261) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、262) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、263) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、264) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、265) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、266) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、267) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、268) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、269) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、270) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、271) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、272) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、273) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、274) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、275) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、276) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、277) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、278) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、279) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、280) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、281) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、282) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、283) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、284) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、285) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、286) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、287) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、288) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、289) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、290) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、291) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、292) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、293) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、294) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、295) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、296) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、297) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、298) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、299) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、300) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、301) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、302) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、303) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、304) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、305) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、306) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、307) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、308) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、309) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、310) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、311) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、312) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、313) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、314) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、315) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、316) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、317) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、318) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、319) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、320) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、321) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、322) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、323) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、324) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、325) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、326) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、327) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、328) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、329) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、330) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、331) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、332) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、333) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、334) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、335) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、336) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、337) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、338) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、339) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、340) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、341) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、342) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、343) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、344) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、345) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、346) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、347) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、348) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、349) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、350) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、351) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、352) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、353) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、354) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、355) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、356) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、357) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、358) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、359) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、360) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、361) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、362) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、363) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、364) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、365) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、366) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、367) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、368) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、369) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、370) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、371) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、372) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、373) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、374) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、375) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、376) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、377) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、378) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、379) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、380) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、381) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、382) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、383) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、384) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、385) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、386) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、387) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、388) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、389) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、390) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、391) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、392) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、393) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、394) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、395) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、396) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、397) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、398) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、399) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、400) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、401) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、402) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、403) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、404) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、405) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、406) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、407) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、408) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、409) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、410) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、411) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、412) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、413) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、414) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、415) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、416) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、417) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、418) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、419) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、420) 大正14 年 船 船 15 ~ 16 頁、



# EXHIBIT B

031484-6



日本鋼構造協会

新しい構造用鋼材とその諸特性



## 序

近年鋼構造物の建設が増え、かつ、大形化してきているのは、二桁部材の増大であるが、その強度部材として主流をなす厚板への新しい特性要求が出され、鉄鋼各社がこれに応えるべく技術開発に努力しているのが現状である。

日本鋼構造協会材料小委員会では、これらの新しい厚板の諸性質についても検討してきたが、これらの内容は、広く、厚板の使用各である鋼構造物設計技術者及び建設加工技術者の諸兄に理解してもらった方が良くと考え、ここに小冊子として編集した。

編集に当たっては、最近の厚板製造技術を概観するとともに、各種厚板製品の特徴について解説し、かつ諸外国のそれとも比較し、また、最近の市場で議論されている課題についてふれることを心がけたが、十分意図がつけなかったことを反省している。

資料内容については、新日本製鉄㈱、日本鋼管㈱、住友金属工業㈱、川崎製鉄㈱、神鋼製鋼所及び日本製鋼所の材料小委員会委員と執筆者の間で検討され、材料小委員会で吟味されたものである。

尚、各種資料は各鉄鋼各社が所有のもの及び既に報告されたものを集めたが、各鉄鋼各社所有のものは数多いデータの中から代表として選んだもので、敢えて出所の固有会社名は記さなかった。したがって、各鉄鋼各社の固有商品名及び製造技術名も記していない。

この小冊子が、素材製造側の厚板製造技術者と使用側の鋼構造設計技術者及び建設加工技術者相互の理解を深めるのに役立ち、素材製造側には、更に新しい厚板の開発を、使用側には鋼材の特性をうまく生かした使用方法が進み、ともにわが国の今後の鋼構造物の発展に少しでも寄与すれば幸甚である。

日本鋼構造協会

材料小委員会委員長 寺 沢 一 雄

(大阪大学名誉教授)



材料小委員会

(敬称略 50音順)

1.1.1 1.1.2 1.3 1

- 小西 一郎 京都大学名誉教授 1
- 佐々木 務 滋賀産業省工業技術院機械技術研究所 1
- 佐藤 四郎 防衛大学校教授
- 飯戸 松二 長岡技術科学大学工学部建設系教授
- 竹森 文夫 福岡県産業省工業技術院標準部材料規格課 1
- 長沢 雄 運輸省船舶技術研究所次長
- 夏目 光弘 船舶同橋梁製作所研究所主任研究員
- 西島 敏 科学技術庁金属材料技術研究所第九試験部
- 西村 昭 神戸大学工学部土木工学科教授 1
- 原 淳一 日立造船技術研究所強度研究室長
- 船水 俊彦 大阪大学工学部造船学科助教授
- 堀川 浩市 大阪大学造船工学研究所助教授
- 松岡 忠雄 石川島播磨重工業株式会社東京第一工場鉄構1課長
- 水野 幸四郎 (株)日本鉄鋼協会技術部専門部長 2
- 三木 千寿 東京大学工学部土木工学科助教授
- 森田 航次 千葉大学工学部建築学科助教授
- 八木 順吉 大阪大学工学部造船学科教授 2
- 山口 哲夫 日本鋼管株式会社技術部

○編集担当者

- 委員 雄一 大阪大学名誉教授
- 青木 淳一 川崎製鉄技術本部技術開発部技術調査室課長
- 青木 博文 横浜国立大学工学部建築学科助教授
- 石重 雄 大阪河橋梁製作所取締役研究所長
- 阿部 英彦 日本国有鉄道建設研究所構造研究室長
- 安藤 良夫 東京大学工学部原子力工学科教授
- 飯田 国広 東京大学工学部船舶工学科教授
- 石沢 隆夫 神戸製鋼所鉄鋼生産本部鋼板技術部長代理
- 竹永 寛 住友金属工業株式会社技術開発部主任部長
- 宮元 雅敏 久留米工業高等専門学校機械科教授
- 小林 信和 横浜国立大学工学部金属材料研究施設
- 大橋 明 日本製鋼所重機部材料グループ
- 加藤 勉 東京大学工学部建築学科教授
- 岸上 幹史 新日本製鉄技術本部厚板技術部課長
- 勝野 寿男 三菱重工製鋼所造船所技術部橋梁課

本対策は多くの合金添加を必要とする 80kg/mm<sup>2</sup>以上の鋼板に適用されている。

#### 5.2.2.4 不純物元素の低減

PやSなどの不純物元素の低減は母材のみならず HAZ のじん性向上に有効である。ただし、これらの元素をたんに低減しただけでは効果が少なく、本対策は他のぜい化軽減策と併用されている。

図-5.2.18及び図-5.2.19にはTiを添加した大入熱溶接用 HT-50 の HAZ じん性に及ぼす P 及び S の影響をそれぞれ示す<sup>10)</sup>。これらの図から明らかなように、P が 0.020% 以下に、S が 0.010% 以下に低減されると HAZ のじん性は著しく向上する。

N の低減も HAZ のぜい化軽減に有効である。この理由については、じん性に有害な固溶 N の低減あるいは島状マルテンサイトの低減などの説があり、まだ明らかではないが、図-5.2.20～図-5.2.22に示したように軟鋼、HT-50、HT-80 などについて低 N 化の効果が報告されている<sup>12),13),14)</sup>。ただし、TiN や BN などを利用して HAZ のぜい化軽減を図る場合には最適 N 量が存在するので、低 N 化により必ずしも HAZ のぜい化が軽減されないことは前述したとおりである。

#### 5.2.2.5 Ni の添加

Ni は鋼のじん性を向上させる元素であり、図-5.2.23に示し

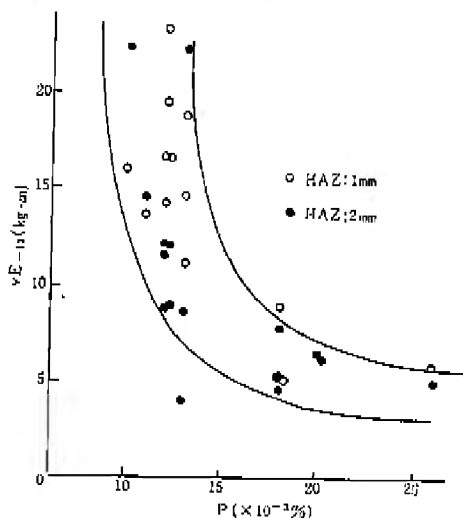


図-5.2.18 50キロ鋼 (Ti 入り) 3 電極溶接溶接部の HAZ + 1mm、+2mm のじん性、 $vE_{-10}$  と母材の P 量との関係<sup>10)</sup>

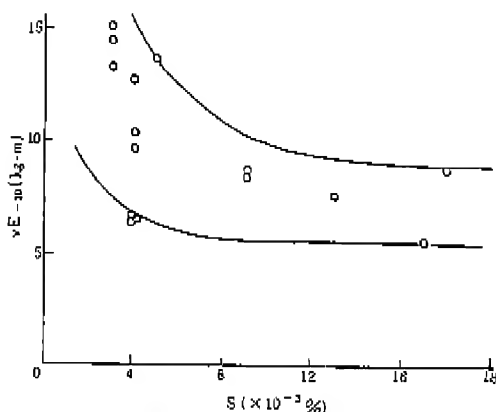
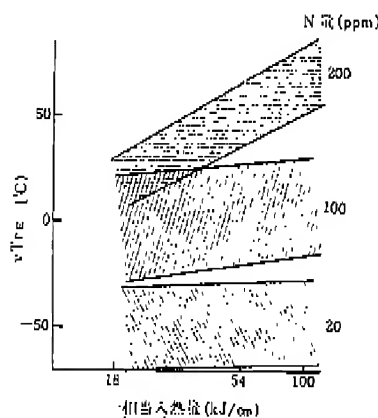


図-5.2.19 50キロ鋼 (Ti 入り) 3 電極溶接溶接部のじん性、 $vE_{-10}$  と母材 S 量との関係<sup>10)</sup>

たように HAZ のぜい化軽減にも有効である<sup>20)</sup>。ただし、Ni は高価であるため経済性を考慮して添加量を決定する必要がある。

以上、HAZ のぜい化軽減策について述べてきたが、大入熱溶接用鋼板の製造に当っては、たんに一つの対策がとられている



C	Si	Mn	Al
0.10~0.15	0.25	0.87~1.21	0.005~0.07

図-5.2.20 Si-Mn 系軟鋼のポンドじん性に及ぼす N 量の影響<sup>17)</sup>

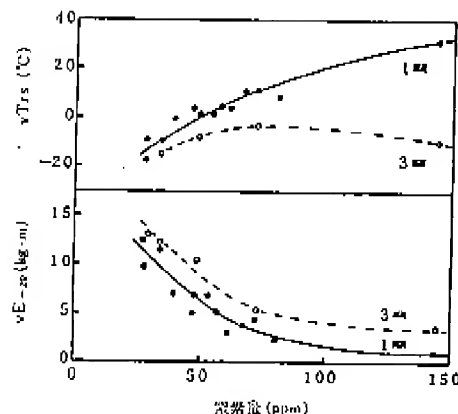


図-5.2.21 HAZ 部の衝撃特性に及ぼす窒素の影響 (HT-50 片面-層サブマージアーク溶接)<sup>18)</sup>

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V	Al	Ti	B	N
0.08	0.30	0.87	0.004	0.003	0.27	0.50	0.12	0.01	0.025	0.005	0.0008	0.0011
0.14	0.34	0.92	0.006	0.013	0.58	0.98	0.45	0.05	0.083	0.025	0.0022	0.0121

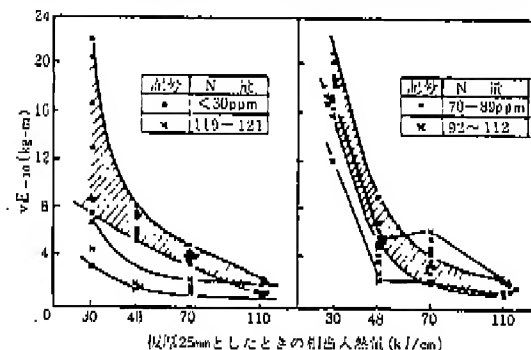


図-5.2.22 HT-80 の熱サイクル試験後のじん性に及ぼす N 量の影響<sup>19)</sup>

鋼材 規格	鋼材 規格	Ceq. (%)	化学成分 (%)										引張強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張伸び (%)	断面収縮 (%)	衝撃特性 (J)
			Fe	C	Mn	P	S	Al	Si	REM	Ca	Co				
A	CR	25.4	0.13	0.34	1.43	0.008	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	CR	25.5	0.14	0.35	1.42	0.015	0.007	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	CR	32	0.12	0.33	1.50	0.017	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D	CR	25.4	0.12	0.33	1.37	0.013	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	—	—	—	—
E	CR	30	0.14	0.36	1.49	0.013	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	CR	30	0.15	0.34	1.38	0.018	0.009	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-5.3.3 大入熱溶接用 HT-50 の化学成分及び機械的性質の一例

鋼材 規格	鋼材 規格	Ceq. (%)	化学成分 (%)										引張強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張伸び (%)	断面収縮 (%)	衝撃特性 (J)
			Fe	C	Mn	P	S	Al	Si	REM	Ca	Co				
A	CR	25.4	0.13	0.34	1.43	0.008	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	CR	25.5	0.14	0.35	1.42	0.015	0.007	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	CR	32	0.12	0.33	1.50	0.017	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D	CR	25.4	0.12	0.33	1.37	0.013	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	—	—	—	—
E	CR	30	0.14	0.36	1.49	0.013	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	CR	30	0.15	0.34	1.38	0.018	0.009	—	—	—	—	—	—	—	—	—

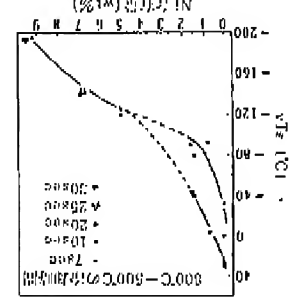
表-5.3.1 大入熱溶接用鋼板の種類とその適用規格

現在市販されている大入熱溶接用鋼板には、引張強さ 50 ~80kgf/mm<sup>2</sup> の高強度鋼板及び降伏点 24 ~37kgf/mm<sup>2</sup> の低強度鋼板の特性を紹介する。なお、表-5.3.11 にこれらの鋼板に適用されている溶接法を例にとり、その溶接熱影響部のじん性を中心に用アルミキル鋼板がある。本誌では、これら鋼板に適用されている溶接法を例にとり、各鋼の規格のうち、日本標準協会 (JIS) 規格では表-5.3.2 に示したように溶接継手部において鋼材が規定されている。

### 5.3 大入熱溶接用鋼板の特性

鋼材は、鋼材や溶接法、要求強度などに応じて種々の組み合わせられている。

図-5.2.23 再結晶熱影響部の衝撃特性と Ni 含有量の関係 (冷却加熱温度: 1,300℃)



### 5.3.1.1 降伏点 32kgf/mm<sup>2</sup> 級

NK 規格の K32A, K32D, K32E や JIS 規格の SM50, SPV32 などに相当するものとして用いられる。本鋼板は、大入熱溶接用鋼板の特性を確保するために、HAZ に微細なフェライト・パーライトを生成させることにより、HAZ のじん性を向上させる。表-5.3.3 に鋼板の化学成分及び機械的性質の一例を示す。

・材料のじん特性や衝撃特性は同表にみられるように一般鋼とほぼ同等である。

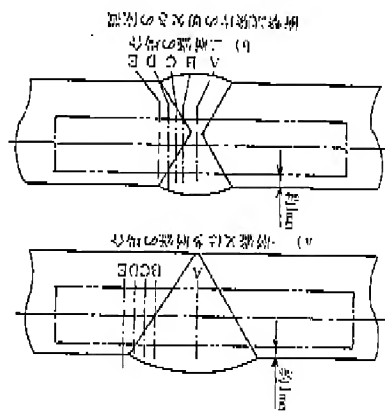
本鋼板は、片面一層 SAW, CGW, あるいは CES などの大入熱溶接を適用することが可能であり、前述したように船体構造用鋼板として使用されている。

表-5.3.2 NK 規格における自動溶接継手の要求強度

材料記号	試験温度 (℃)	切欠位置	要求強度 (kgf・m)		材料記号	試験温度 (℃)	切欠位置	要求強度 (kgf・m)	
			平均値	最小値				平均値	最小値
圧延鋼材	20	A, B, C	≥3.5	—	圧延鋼材	20	A, B, C	≥3.5	—
圧延鋼材	20	A, B, C	≥3.5	—	圧延鋼材	20	A, B, C	≥3.5	—

\* 低温度用圧延鋼材の試験温度は最低の試験温度を示す。

使用温度より 5℃ 低い試験温度で要求値を満足すれば使用可能。





片面一層 SAW は板厚12~32mmの鋼板の突合せ溶接に適用されており、板厚に応じて入熱量 80~250KJ/cm で溶接されている。

立向の大入熱溶接法である EGW 及び CES での入熱量は、それぞれ 60~300KJ/cm 及び 200~500KJ/cm である。

これらの大入熱溶接法における継手の衝撃特性の一例を図-5.3.1に示す。これらの図から明らかなように、大入熱溶接用鋼板は、ボンド部のじん性が一般鋼よりも優れており、また、ぜい化域の幅も狭くなっていることが分かる。

図-5.3.2は、市販されている種々の大入熱溶接用鋼板のボンド部の衝撃試験結果を、入熱量とシャルピー特性値  $vTrs$  との関係について整理し、これを一般鋼の場合と対比して示したものである。大入熱溶接用鋼板は入熱量を増大させてもボンド部のぜい化が少なく、入熱量がおおよそ 80KJ/cm 以上になると大入熱溶接対策の効果が顕著になることが分かる。

次に大入熱溶接用鋼板の溶接継手部におけるぜい性破壊特性を紹介する。図-5.3.3には中央切欠付ディープノッチ試験の結果を示す。大入熱溶接用鋼板のボンド部におけるぜい性破壊発生特性値  $[TI]_{c=10}$  (応力：公称応力の $\frac{1}{2}$ 、き裂長さ：80mmの場合のぜい性破壊発生温度) は、片面一層 SAW 及び EGW のいずれの溶接法の場合においても一般鋼より低温側に位置している。本結果からも大入熱溶接用鋼板は一般鋼より HAZ のじん

性が優れていることが分かる。図-5.3.4には EGW 継手の COD 試験結果を示す。一般の船舶における最も低い使用温度  $-20^{\circ}\text{C}$  においても限界COD値 ( $\delta_c$ ) はボンド部において0.7mm以上の極めて高い値を示している。

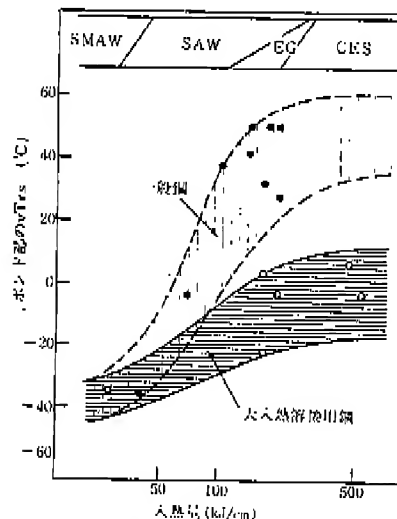


図-5.3.2 降伏点 32kg f/mm<sup>2</sup>級 HT-50 における入熱量とボンド部の  $vTrs$  との関係

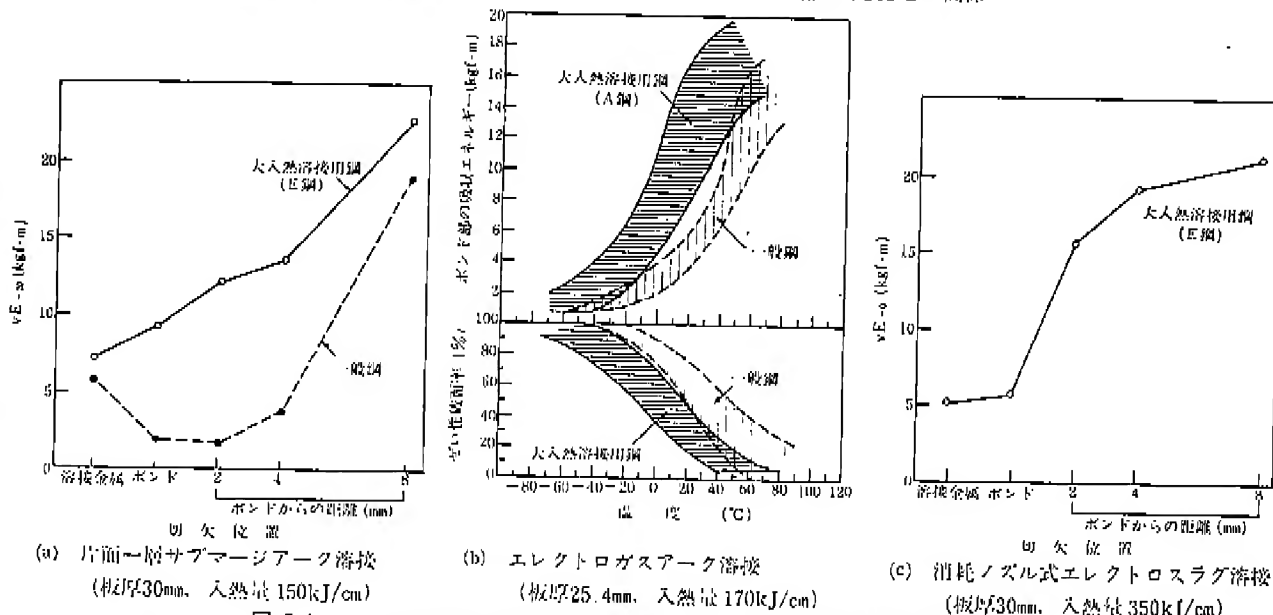


図-5.3.1 大入熱溶接用降伏点32kg f/mm<sup>2</sup>級 HT-50 における溶接継手の衝撃値

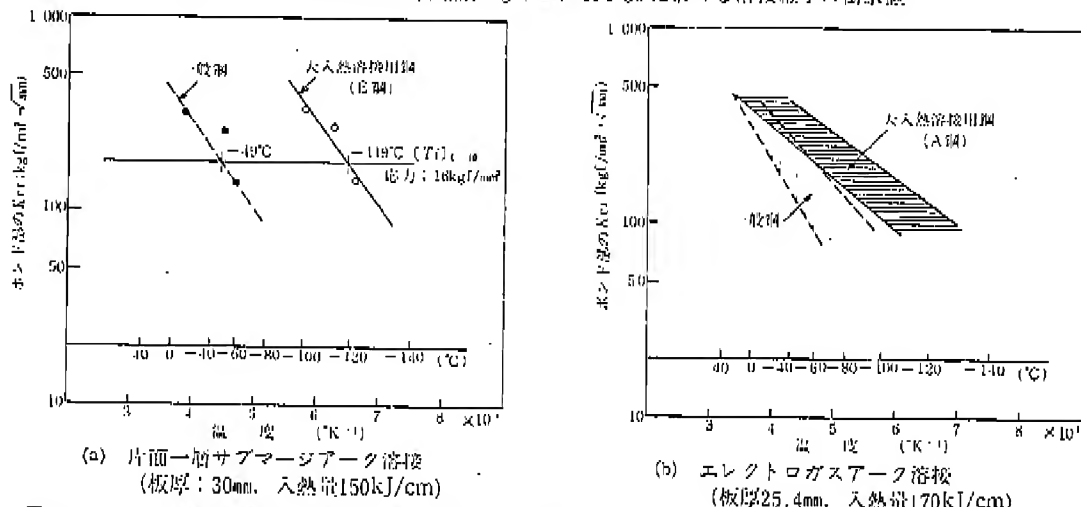
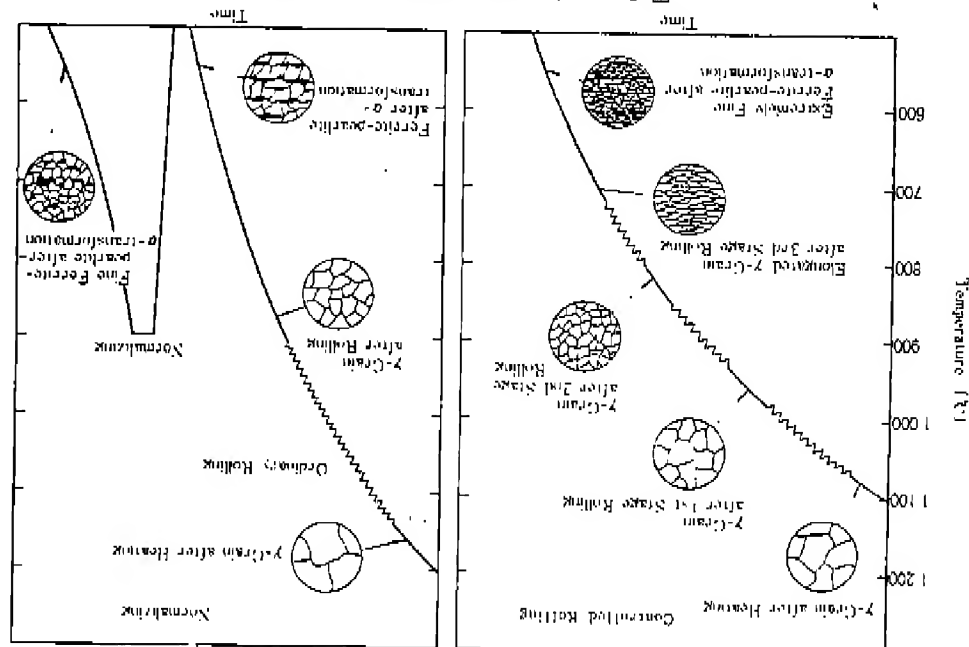


図-5.3.3 大入熱溶接用降伏点32kg f/mm<sup>2</sup>級 HT-50 の溶接継手ボンド部における中央切欠付ディープノッチ試験結果

鋼材種別	H07F (mm)	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Ti	Ceq. (%)	引張特性					VTS (kgf/mm <sup>2</sup> )	%	
												YP (kgf/mm <sup>2</sup> )	TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	VE-100 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張伸び (%)				
A	SCR	20	0.11	0.32	1.07	0.014	0.007	0.019	—	0.042	0.012	0.35	49.7	57.8	23.9	—109	入火熱 処理時間	—425℃	
		22	0.12	0.32	1.36	0.015	0.014	0.006	0.019	—	0.041	0.013	0.36	49.5	52.9	20.0			—78
		40	0.11	0.31	1.37	0.014	0.007	0.017	—	0.041	0.013	0.35	42.3	52.4	23.9	—80			
		43	0.09	0.26	1.43	0.015	0.001	—	0.04	0.029	0.015	0.35	43	52	29.5	< 100			
		50	0.11	0.38	1.37	0.019	0.002	—	0.06	0.023	0.014	0.36	43	52	21.9	—88			
B	SCR	32	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	—	0.40	39.0	53.0	17.7	—60	入火熱 処理時間	—425℃	
		37	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	—	0.40	39.0	53.0	17.7	—60			
		37	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	—	0.40	39.0	53.0	17.7	—60			
		37	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	—	0.40	39.0	53.0	17.7	—60			
		37	0.13	0.34	1.39	0.016	0.006	0.032	—	0.029	—	0.40	39.0	53.0	17.7	—60			

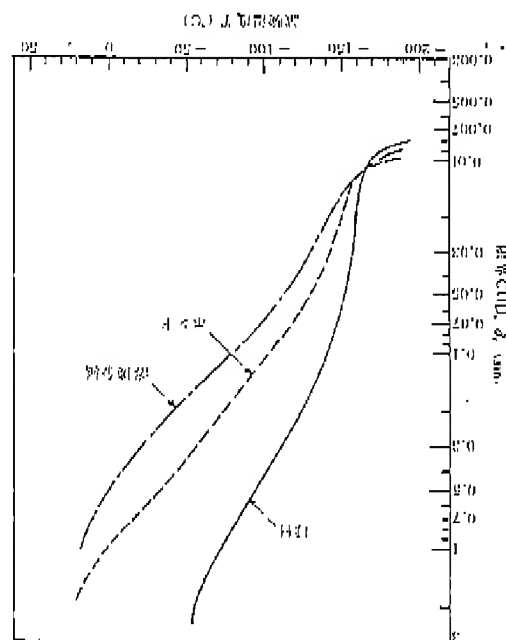
表-5.3.4 吸入器用降圧点 36kPa/㎖ 級 HT-50 の化学成分と機械的性質の一例

图 5-3-5 不同频率正弦波电压比较

(A 300, 400/25.4mm,  $\lambda_{\text{max}}$ : 170kJ/cm)

口カズフ一ノ忠義維新の断髪状

⑤-5.3.4 大入熱源・援用降伏点 $321\text{kgf/mm}^2$  鋼 HT-50 のエルク



5.3.1.2 熔点: 361K/gf/mm<sup>2</sup>°C

5.3.1.2 降伏点 35kgt/mm<sup>2</sup> 降伏点 32kgt/mm<sup>2</sup>級の鋼板に適用されているので、降伏点 32kgt/mm<sup>2</sup>級の鋼板に適用されているせい化降載を施しても HAZ の組織をフェライトとし延性を改善することできなかった。

しかし、塑性、制御延延技術の進歩により上述の問題は解決された。この延延技術はスラフの加熱から延延の段階へ至いたる各延延段階において延延温度と圧下量を制御することにより、高強度低延性鋼板を製造する技術であり、この場合、同-5.3.5に示したように普通厚延や板ならし延の場合より結晶粒をはるかに細かくすることが可能であり、また、NB や V など の炭素化合物の析出強化が利用できるので、延延によって強度増加を図ることができると、したがって、目標強度を同一とした場合、この延延技術を適用した鋼板では、合金元素によって強度を確保されていた延延ままあるいは焼ならし形の鋼板に比べて合金元素の削減が可能となる。

本強度クラスの大入熱処理用鋼板は、この延延技術と前述の微細フェライト・パーライトの生成を利用した HAZ のせい化降載との組合せにより開発されたものであり、NR 規格の K36A、K36D、K36E、JIS 規格の SM50Y、SM53、SPV36 などと相当するものである。

表-5.3.41には、HAZ のせい化降載として TI を添加した鋼板の化学成分及び機械的性質を一例として示す。本鋼板では

量が0.10%前後まで低減されており、その結果、 $C_{eq}$ も一般鋼より約0.04%低くなっている。VやNbは制御圧延による強度増加の効果を高めるために添加されている。

本鋼板の母材じん性は、同表に示した衝撃特性及び図-5.3.6の二重引張試験結果にみられるように、一般鋼よりはるかに優れている。これは制御圧延鋼板の一つの特長であり、本圧延により結晶粒が非常に細粒化されているためである。

片面一層SAW継手におけるシャルピ試験結果の一例を一般鋼のそれと対比して図-5.3.7に、その中央切欠付ディープノッチ試験結果を図-5.3.8に示す。また、図-5.3.9には入熱量とボンド部の $VE_{-20}$ との関係を示す。これらの図より、大入熱溶接用鋼板のボンド部のじん性は、入熱量が増大してもせい化が少なく、一般鋼より優れていることが分かる。なお、本鋼板では、大入熱溶接継手のHAZのじん性に有害であるといわれていたNb

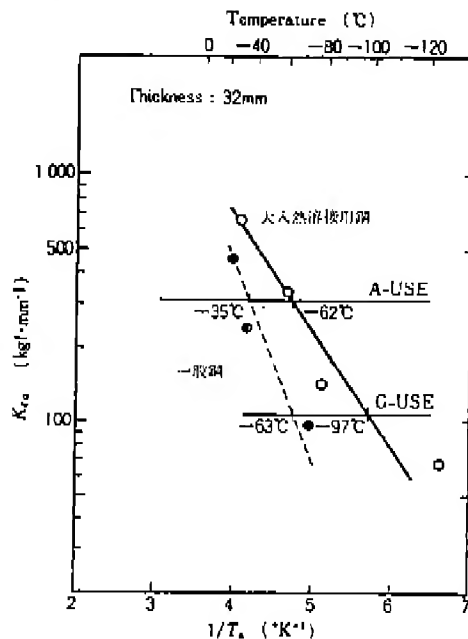


図-5.3.6 大入熱溶接用降伏点36kgf/mm<sup>2</sup>級HT-50の二重引張試験結果 (A鋼)

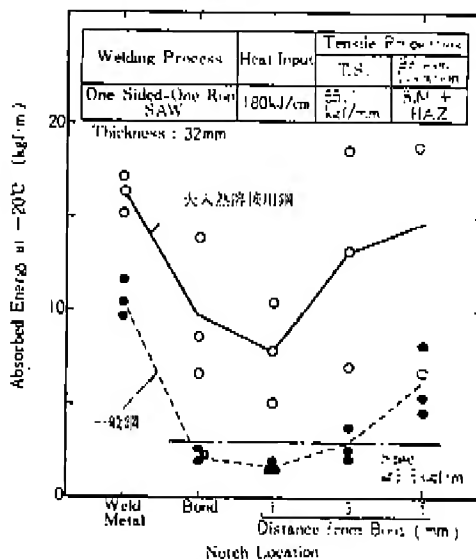


図-5.3.7 大入熱溶接用降伏点36kgf/mm<sup>2</sup>級HT-50における片面一層サブマージーク溶接継手のシャルピ衝撃特性 (A鋼)

やVが添加されている<sup>22)</sup>にもかかわらず良好なじん性を有しているが、これは、C量や $C_{eq}$ を低減すれば、これらの元素を有効に活用できることを示すものである。

$C$ 量や $C_{eq}$ の低減は、図-5.3.10に示したように耐溶接割れ性の改善にも有効である。本鋼板は溶接時に予熱を必要としないため溶接作業能率の向上の点からも極めて有用であるといえる。

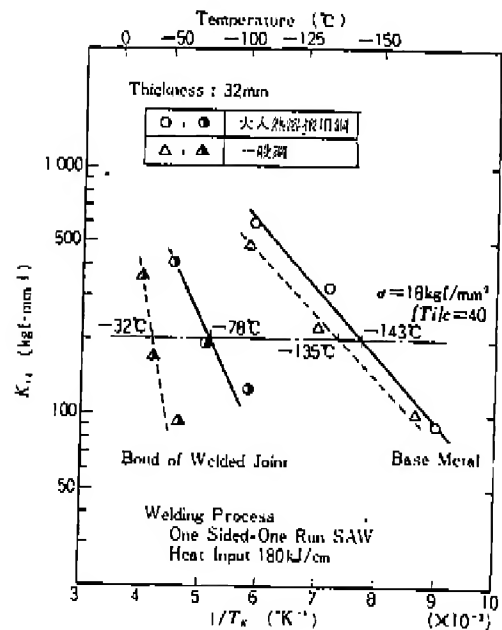


図-5.3.8 大入熱溶接用降伏点36kgf/mm<sup>2</sup>級HT-50中央切欠付ディープノッチ試験結果 (A鋼)

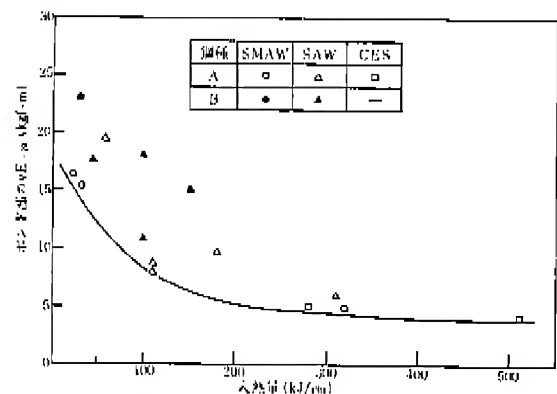


図-5.3.9 大入熱溶接用降伏点36kgf/mm<sup>2</sup>級HT-50における入熱量とボンド部の $VE_{-20}$ との関係

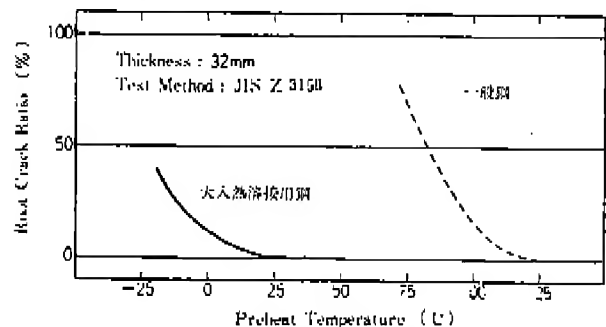


図-5.3.10 大入熱溶接用降伏点36kgf/mm<sup>2</sup>級HT-50の斜めY形溶接われ試験結果 (鋼種A)

---

新しい構造用鋼材とその諸特性

---

定価 5,000円

昭和56年11月25日 © 1981

編集兼発行人 藤 原 孝

発行所 日本鋼構造協会

〒100 東京都千代田区丸の内3-3-1 新東京ビル848

電(03) 212-0875 (代) 振替口座東京 4-99826

---

# EXHIBIT C

## Test pieces for tensile test for metallic materials

**Introduction** This Japanese Industrial Standard is based on ISO 6892 : 1984, *Metallic materials—Tensile testing*. However, this Standard specifies the non-proportional test piece not included in ISO 6892. This is because that the sudden abortion of the non-proportional test piece which has been specified so far in the Japanese Industrial Standard for a long time is considered to affect a commercial transaction to a great extent. Nevertheless, taking this circumstance into account the division of use and the dimension of test piece specified in ISO 6892 are included newly in Remarks Table 1 to contribute to the use, when testing the materials specified in ISO Standard with a view to seeking the conformity with the International Standard.

**1 Scope** This Japanese Industrial Standard specifies test pieces for tensile test for metallic materials (hereafter referred to as "test piece").

**Remarks 1** When the tensile test values are required to be compared between the test pieces of different materials or different dimensions, or when the tensile test results are used in international trade, it is preferable to use the proportional test piece specified in this Standard.

**2** The following standard is corresponding International Standard to this Standard :

ISO 6892 : 1984 *Metallic materials—Tensile testing*

**2 Normative references** The following standard contains provisions which, through reference in this Standard, constitute provisions of this Standard. The most recent edition of the standard indicated below shall be applied.

JIS G 0202 *Glossary of terms used in iron and steel (testing)*

**3 Definitions** For the purpose of this Standard, the definitions given in JIS G 0202 apply.

### 4 Types of test piece

**4.1** The test pieces shall be classified as specified in 5.1 depending upon the form and size. These are classified into the proportional test piece and the non-proportional one as given in Table 1.

Table 1 Classification of test piece

Form of test piece	Flat form test piece	Bar form test piece	Tubular form test piece	Arc section test piece	Wire form test piece
Proportional test piece	No.14B	No.2, No.14A	No.14C	No.14B	
Non-proportional test piece	No.1A, No.1B, No.5, No.13A, No.13B	No.4, No.10, No.8A, No.8B, No.8C, No.8D	No.11	No.12A, No.12B, No.12C	No.9A, No.9B

Remarks : In addition to Table 1, the special test pieces are specified in Annex.

4.2 The selection of a type of test piece to be used shall be in accordance with the requirements of the standard for particular material, but it is recommended to be selected as given in Table 2.

Table 2 Division of use of test pieces

Form	Material Dimensions	Test piece		Remarks
		Proportional	Non-proportional	
Sheet, plate, shape, strip	Over 40 mm in thickness	No. 14A	No. 4, No. 10	For bar form test piece
		No. 14B	—	For flat form test piece
	Over 20 mm up to and incl. 40 mm in thickness	No. 14A	No. 4, No. 10	For bar form test piece
		No. 14B	No. 1A	For flat form test piece
	Over 6 mm up to and incl. 20 mm in thickness	No. 14B	No. 1A, No. 5	
	Over 3 mm up to and incl. 6 mm in thickness		No. 5, No. 13A, No. 13B	
3 mm or less in thickness		—		
Bar	—	No. 2, No. 14A	No. 4, No. 10	—
Wire	—	—	No. 9A, No. 9B	—
Pipe	Pipe of small outside dia.	No. 14C	No. 11	For tubular form test piece
	50 mm or less in outside dia.	No. 14B	No. 12A	For arc section test piece
	Over 50 mm up to and incl. 170 mm in outside dia.		No. 12B	
	Over 170 mm in outside dia.		No. 12C	
	200 mm or over in outside dia.	No. 14B	No. 5	For flat form test piece or arc section test piece
	Thick wall pipe	No. 14A	No. 4	For bar form test piece
Cast- ing	—	No. 14A	No. 4, No. 10	—
	—	—	No. 8A, No. 8B, No. 8C, No. 8D	To be used when elongation value is not required. To be taken from test coupon casted for test piece
Forg- ing	—	No. 14A	No. 4, No. 10	—

Shape  
section  
produc  
Sheet

Bar

Wire

Pipe

Shape

D : dia

Note (

Remar

- Remarks 1 No. 1B test piece shall be used in the case where the test pieces shown in Table 2 are not suitable to be used.
- 2 No. 3, No. 6 and No. 7 test piece specified in Annex should be used when the use of test pieces given in Table 2 is not suitable.
- 3 For the materials specified in the International Standard, the division of use shown in the following remarks Table 1 may be used.

**Remarks Table 1 Division of use and dimension of test piece based on International Standard**

Unit : mm

Shape of cross section of product	Dimension	Width <i>W</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Distance from end of parallel portion to grip
Sheet	Less than 3 mm in sheet thickness	12.5 20	50 80	75 120	87.5 140
	3 mm or more in sheet thickness <sup>(1)</sup>	—	$5.65\sqrt{A}$	$L+2\sqrt{A}$	—
Bar	Less than 4 mm in outside diameter	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in outside diameter <sup>(1)</sup>	—	$5D$	$L+2D$	—
Wire	Less than 4 mm in outside diameter	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in outside diameter <sup>(1)</sup>	—	$5D$	$L+2D$	—
Pipe	Less than 3 mm in pipe thickness	12.5 20	50 80	75 120	87.5 140
	3 mm or more in pipe thickness	—	$5.65\sqrt{A}$	$L+2\sqrt{A}$	—
Shape	Less than 4 mm in thickness	— —	200 100	— —	250 150
	4 mm or more in thickness <sup>(1)</sup>	—	$5D$	$L+2D$	—

*D*: diameter of parallel portion, *A*: sectional area of parallel portion

Note <sup>(1)</sup> When using a test piece of circular cross section, *D* = 5 mm, 10 mm, or 20 mm is recommended.

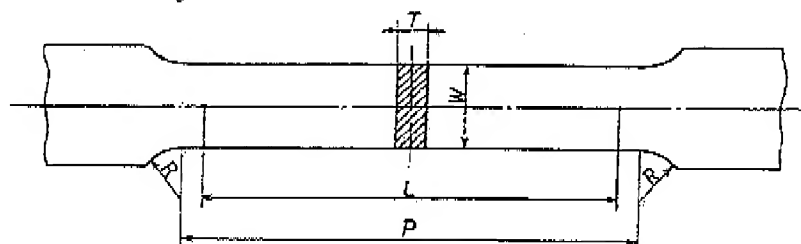
- Remarks 1 In the case of rectangular cross section, the ratio between sheet thickness and sheet width shall not exceed 8 : 1.
- 2 In the case of hexagonal cross section, the parallel length shall be  $P = L + 1.5\sqrt{A}$ .
- 3 The parallel length, in the case of circular cross section and in other cases, shall be  $P = L + 0.5D$  and  $P = L + 1.5\sqrt{A}$  or more respectively, even in the minimum.



## 5 Form and dimensions of test piece

5.1 Form and dimensions of test piece The forms and dimension of the test pieces shall be as follows.

a) No. 1 test piece The form and dimensions of this test piece shall conform to Fig. 1

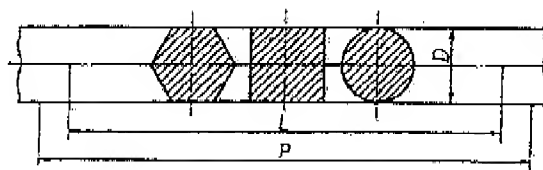


Unit : mm

Type of test piece	Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
1A	40	200	220 approx.	25 min.	Thickness of material
1B	25	200	220 approx.	25 min.	Thickness of material

Fig. 1 No. 1 test piece

b) No. 2 test piece The form and dimensions of this test piece shall conform to Fig. 2.

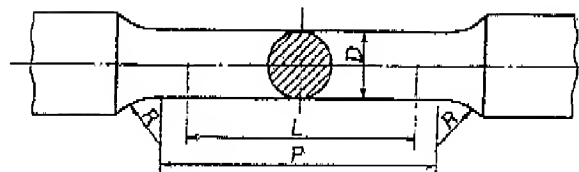


Dia. or width across flats $D$	Gauge length $L$	Distance between grips $P$
Size of material	$8D$	$(L + 2D)$ approx.

Remarks : For No. 2 test piece, the bars of not more than 25 mm in nominal diameter (or width across flats) shall be used.

Fig. 2 No. 2 test piece

- c) No. 4 test piece The form and dimensions of No. 4 test piece shall conform to Fig. 3.



Unit : mm

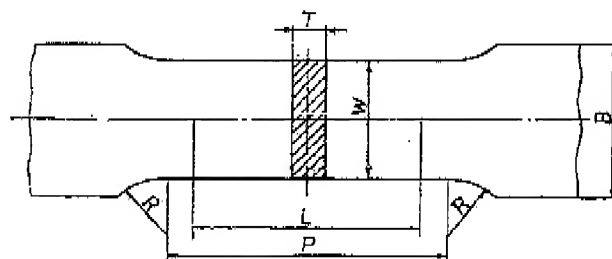
Diameter $D$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$
14	50	60 approx.	15 min.

Remarks 1 The parallel portion of No. 4 test piece shall be machine-finished.

- 2 If No.4 test piece of the dimensions as specified in Fig. 3 can not be obtained, the diameter of parallel portion and the gauge length may be determined in accordance with the formula  $L = 4\sqrt{A}$ , where  $A$  is the cross-sectional area of parallel portion.

Fig. 3 No. 4 test piece

- d) No. 5 test piece The form and dimensions of No. 5 test piece shall conform to Fig. 4.



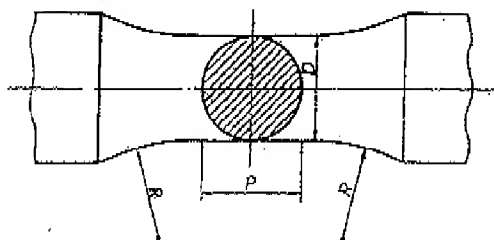
Unit : mm

Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
25	50	60 approx.	15 min.	Thickness of material

Remarks : In the case of applying No. 5 test piece to steel sheets not more than 3 mm thick, the radius  $R$  of fillet shall be 20 mm to 30 mm, and the width  $B$  of gripped ends shall be 30 mm or over.

Fig. 4 No. 5 test piece

- e) **No. 8 test piece** The form and dimensions of No. 8 test piece shall conform to Fig. 5.



Unit : mm

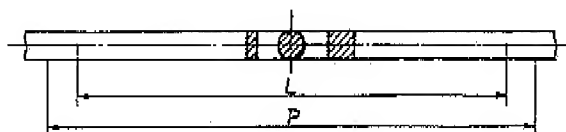
Type of test piece	Casting dimensions of test coupon (diameter)	Parallel length $P$	Diameter $D$	Radius of fillet $R$
8A	13 approx.	8 approx.	8	16 min.
8B	20 approx.	12.5 approx.	12.5	25 min.
8C	30 approx.	20 approx.	20	40 min.
8D	45 approx.	32 approx.	32	64 min.

Remarks 1 No. 8 test piece shall be used for the tensile testing of the materials such as iron castings which do not require elongation values.

- 2 No. 8 test piece shall be sampled from the specimen cast to the dimensions given in the Table.

Fig. 5 No. 8 test piece

- f) **No. 9 test piece** The form and dimensions of No. 9 test piece shall conform to Fig. 6.



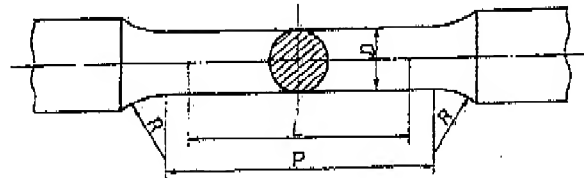
Unit : mm

Type of test piece	Gauge length $L$	Distance between grips $P$
9A	100	150 min.
9B	200	250 min.

Fig. 6 No. 9 test piece

to Fig.

- a) No. 10 test piece The form and dimensions of No. 10 test piece shall conform to Fig. 7.

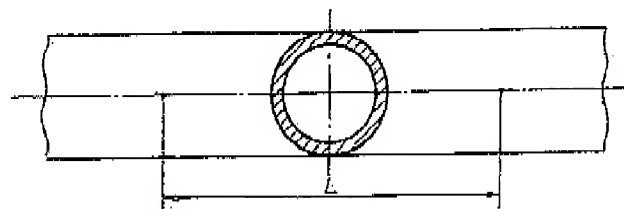


Unit : mm

Diameter $D$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$
12.5	50	60 approx.	15 min.

Fig. 7 No. 10 test piece

- b) No. 11 test piece The form and dimensions of No. 11 test piece shall conform to Fig. 8.



Gauge length  $L = 50$  mm

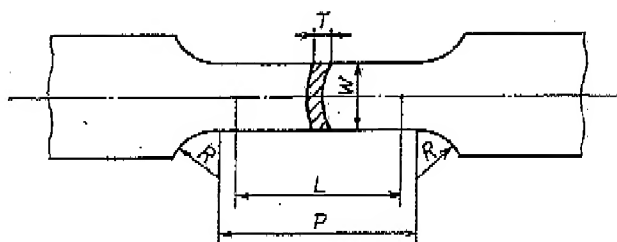
Remarks : The cross section of No. 11 test piece shall be as cut from the tubular material, and the gripped ends shall be inserted with metal plugs or pressed flat by hammering.

In the latter case, the length of parallel portion shall be not less than 100 mm.

Fig. 8 No. 11 test piece

- i) No. 12 test piece The form and dimensions of No. 12 test piece shall conform to Fig. 9.

k) Nc  
1) N  
tc



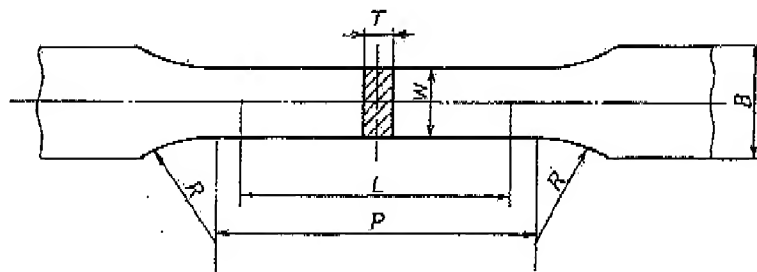
Unit : mm

Type of test piece	Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
12A	19	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube
12B	25	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube
12C	38	50	60 approx.	15 min.	Thickness of tube

Remarks : The cross section of parallel portion of No. 12 test piece shall be arc form as cutting out of the tubular material. However, the gripped ends of test piece may be hammered flat at the room temperature.

Fig. 9 No. 12 test piece

- j) No. 13 test piece The form and dimensions of No. 13 test piece shall conform to Fig. 10.



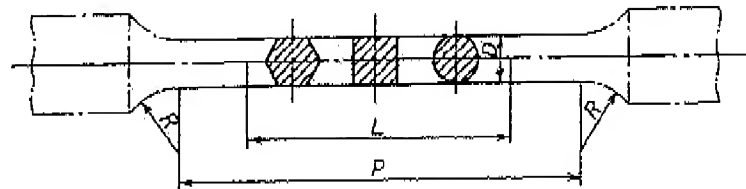
Unit : mm

Type of test piece	Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$	Width of gripped portion $B$
13A	20	80	120 approx.	20 to 30	Thickness of material	—
13B	12.5	50	60 approx.	20 to 30	Thickness of material	20 min.

Fig. 10 No. 13 test piece

k) No. 14 test piece

- 1) No. 14A test piece The form and dimensions of No. 14A test piece shall conform to Fig. 11.



Unit : mm

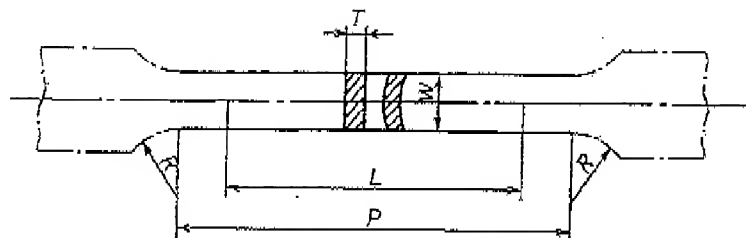
Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$
$5.65\sqrt{A}$	$5.5D$ to $7D$	15 min.

$A$  : cross-sectional area of parallel portion

- Remarks 1 The gauge length may be so determined that  $L = 5D$  for circular cross section of parallel portion, that  $L = 5.65D$  for square cross section, and that  $L = 5.26D$  for hexagonal cross section.
- 2 The length  $P$  of parallel portion should be  $7D$ , as far as practicable.
- 3 The diameter of gripped portions of No. 14A test piece may be made the same dimension as that of the parallel portion. In this case, the distance of  $P$  between grips shall be so determined that  $P \geq 8D$ .
- 4 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 11 No. 14A test piece

- 2) No. 14B test piece The form and dimensions of No. 14B test piece shall conform to Fig. 12.



Unit : mm

Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
$8T_{\max.}$	$5.65\sqrt{A}$	$L+1.5\sqrt{A}$ to $L+2.5\sqrt{A}$	15 min.	Thickness of material

$A$  : cross-sectional area of parallel portion

- Remarks 1 The length of parallel portion shall be so determined that  $P = L + 2\sqrt{A}$ , as far as practicable.
- 2 In the case of applying No. 14B test piece to the test of tubes, the cross section of parallel portion shall be as cut out of the tube.
- 3 The width of gripped portion of No. 14B test piece may be made the same as that of the parallel portion. In this case, the parallel length shall be  $P = L + 3\sqrt{A}$ .
- 4 No. 14B test piece, the standard dimensions of which are given in Remarks Table 2, should be used by unifying in every reasonable gauge of sheet width.
- 5 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 12 No. 14B test piece

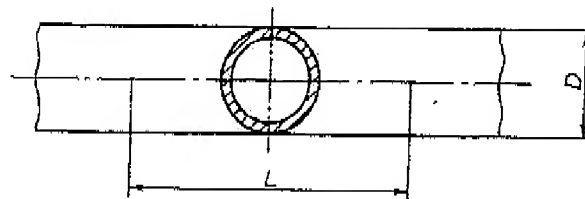
Remarks Table 2 Standard dimensions of 14B test piece

Plate thickness	Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$
Over 5.5 mm up to and incl. 7.5 mm	12.5	50	80
Over 7.5 mm up to and incl. 10 mm		60	
Over 10 mm up to and incl. 13 mm	20	85	130
Over 13 mm up to and incl. 19 mm		100	
Over 19 mm up to and incl. 27 mm	40	170	265
Over 27 mm up to and incl. 40 mm		205	

Unit : mm

conform

- 3) No. 14C test piece The form and dimensions of No. 14C test piece shall conform to Fig. 13.



Gauge length  $L = 5.65\sqrt{A}$  (where  $A$  is the cross-sectional area of test piece)

- Remarks 1 The cross section of No. 14C test piece shall be as cut out of the tubular material.
- 2 This test piece shall be tested with its gripped ends inserted with metal plugs. In this case, the length of the part which is allowed to deform without touching the metal plugs shall be within the range from  $(L + \frac{D}{2})$  to  $(L + 2D)$ , but  $(L + 2D)$  is preferable.
- 3 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 13 No. 14C test piece

5.2 Parallel length of test piece In the case where the elongation value is not required in the tensile test, the length of parallel portion of each test piece prescribed in 5.1 may be so changed that  $P \geq 3D$  or that  $P \geq 3\sqrt{A}$ .

5.3 Gauge length of proportional test piece The gauge length of the proportional test piece shall be at least 25 mm. However in the case where the original sectional area of the test piece is too small and, therefore, the gauge length of the proportional test piece is less than 25 mm, it is allowed to make the proportional constant 5.65 or more or to use the non-proportional test piece.

The gauge length of the proportional test piece may be rounded off to the nearest 5 mm, within the tolerance of 10 % on the calculated proportional dimension.

5.4 Change of parallel length of proportional test piece When conducting the tests of proportional test pieces of varied dimensions at a time, they may be so made that the lengths of parallel portions shall be unified to the longest one.

## 6 Tolerances on the dimensions of parallel portion of test piece

6.1 Tolerance on machined parallel portion in relation to nominal dimension The tolerances on diameter, thickness and width of parallel portion after machining in relation to the respective nominal dimensions shall be as shown in Table 3.



**Table 3 Tolerance on parallel portion in relation to nominal dimension**

Unit : mm

Nominal dimension	Tolerance
Over 4 up to and incl. 16	$\pm 0.5$
Over 16 up to and incl. 63	$\pm 0.7$

**6.2 Variation of dimension of machined parallel portion** The diameter, thickness and width of mechanically-finished parallel portion of a test piece shall be uniform all over that portion, without variations (maximum value—minimum value) exceeding the tolerance given in Table 4 (for circular cross section) and Table 5 (for rectangular cross section).

**Table 4 Tolerance on variation of dimension of parallel portion (case of circular cross section)**

Unit : mm

Mechanically-finished diameter	Tolerance
Over 3 up to and incl. 6	0.03
Over 6 up to and incl. 18	0.04
Over 18	0.05

**Table 5 Tolerance on variation of dimension of parallel portion (case of rectangular cross section)**

Unit : mm

Mechanically-finished thickness or width	Tolerance
Over 3 up to and incl. 6	0.06
Over 6 up to and incl. 18	0.08
Over 18	0.10

**Remarks :** For example, if the minimum measured diameter of a parallel portion of a No. 4 test piece is 14.30 mm, the maximum diameter of the parallel portion should not exceed 14.34 mm (see Table 4).

Besides, the finished diameter of a No. 4 test piece of 14 mm nominal diameter shall be within 13.5 mm to 14.5 mm all over the parallel portion (see Table 3).

**6.3 Taper of parallel portion of test piece** If necessary, the parallel portion of a test piece may be tapered towards the middle within the tolerance on form specified in 6.2.

1 Scope  
metallic

2 Term

3 Shape

3.1 Sha  
fied into  
sions of v

a) No. 3  
Anne

Rema

b) No.  
Ann

# Annex (normative)

## Special tensile test piece for metallic materials

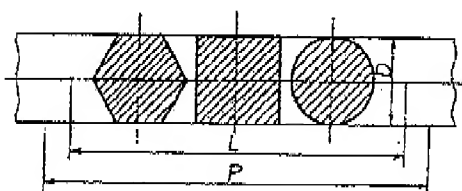
1 **Scope** This Annex specifies the special tensile test piece used in the tensile test of metallic materials (hereafter referred to as "special test piece").

2 **Term of application** This Annex applies until December 31, 2004.

3 **Shape and dimension of special test piece**

3.1 **Shape and dimension of special test piece** The special test piece shall be classified into No. 3 test piece, No. 6 test piece and No. 7 test piece, the shapes and dimensions of which are as follows ;

a) **No. 3 test piece** The shape and dimension of No. 3 test piece shall be as shown in Annex Fig.1.



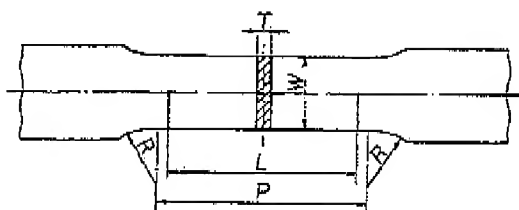
Dia. or width across flats $D$	Gauge length $L$	Distance between grips $P$
Size of material	$4D$	Approx. $(L + 2D)$

Remarks 1 No. 3 test piece is used for bar materials the nominal diameter (or width across flats) of which exceeds 25 mm.

2 No. 3 test piece may be machined to be the test piece having the parallel portion provided that, in this case, the diameter of parallel portion is 25 mm or more and the length of parallel portion  $P$  is approximately  $4.5 D$ .

Annex Fig. 1 No. 3 test piece

b) **No. 6 test piece** The shape and dimension of No. 6 test piece shall be as shown in Annex Fig. 2.



Unit : mm

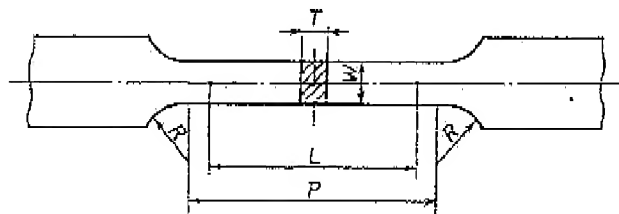
Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
15	$8\sqrt{A}$	$L + \text{approx. } 10$	15 or over	Thickness of material

$A$  : cross section area of parallel portion ( $W \times T$ )

Remarks : No. 6 test piece is used for sheet materials and shape materials the thickness of which is 6 mm or under.

Annex Fig. 2 No. 6 test piece

- c) No. 7 test piece The shape and dimension of No. 7 test piece shall be as shown in Annex Fig. 3.



Unit : mm

Width $W$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$	Thickness $T$
$T$ or over	$4\sqrt{A}$	Approx. $1.2L$	15 or over	Thickness of material

$A$  : cross section area of parallel portion ( $W \times T$ )

Annex Fig. 3 No. 7 test piece

3.2 Parallel length of special test piece If elongation value is unnecessary in tensile test, the parallel length of each special test piece is allowed to be  $P \geq 3D$  or  $P \geq 3\sqrt{A}$ .

3.3 Gauge length of special test piece As for the gauge length of special test piece, the fraction may be rounded off up to 5 mm within a range not exceeding the tolerance of 10 % with respect to the calculated proportional dimension.

3.4 Change of parallel length of special test piece When carrying out the test at the same time using the special test pieces of different dimensions, they may be prepared in such a way that the parallel lengths are adjusted to the longest one.

4 Tolerance on the dimension of parallel portion of special test piece The tolerance on the dimension of parallel portion of the special test piece shall be as specified in 4 d) the body.

## Met

Introductio  
lie materials  
from the cor  
tents. In the  
specified to  
national use  
%/min has b  
Japanese In

1 Scope  
of metallic r  
Remarks

ISO 689.

2 Normat  
through refe  
tions of the  
JIS B 7

JIS B 7

JIS G 0

JIS Z 2

JIS Z 8

3 Definiti  
0202 and th

a) gauge l  
on which  
a distin

1) origi

2) fini

the

thei

b) extensi

used for

may dif

diameter

Where,

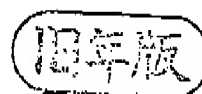
c) elongat

d) percen

# EXHIBIT D

# JIS

UDC 621.791.05:620.178,  
152.341



JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Testing Method of Maximum  
Hardness in Weld  
Heat-Affected Zone

JIS Z 3101 -1972

Translated and Published

by

Japanese Standards Association

Printed in Japan

Price ¥130

## JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

J I S

Testing Method of Maximum Hardness in  
Weld Heat-Affected Zone

Z 3101-1972

1. Scope

This standard specifies testing method of maximum hardness in weld heat-affected zone of a steel by a covered electrode, hereinafter referred to as the "maximum hardness test".

2. Test Specimen

2.1 The test specimen shall be as indicated in Fig. 1 and Table 1, and the thickness ( $t$ ) of test material shall be 20 mm as standard. When original thickness of the material exceeds 20 mm, the one face shall be machined cut to 20 mm, and in case of less than 20 mm, leaving it in original thickness.

Fig. 1. Shape of Test Specimen

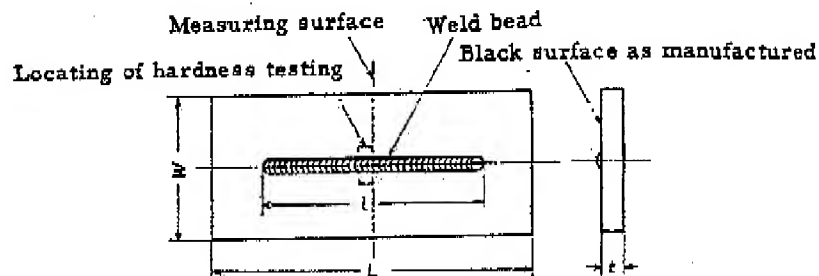


Table 1. Dimension of Test Specimen

Item	Unit: mm		
	L	W	t
No. 1 test specimen	200 approx.	75 approx.	125 $\pm$ 10
No. 2 test specimen	200 approx.	150 approx.	125 $\pm$ 10

## Applicable Standards:

JIS B 7725-Vicker's Hardness Testers

JIS Z 2244-Method of Vicker's Hardness Test

2.2 No. 1 test specimen is used when welding is done at room temperature, and No. 2 test specimen is used when welding is done with preheating.

2.3 The side faces of test specimen can be left as flamed cut.

### 3. Welding

3.1 As indicated in Fig. 1, a string bead of  $125 \pm 10$  mm long is laid on the centre of black surface of test material.

3.2 The covered electrode shall, as a rule, be of 4 mm diameter and of quality suitable for welding of test material.

3.3 The surface of material before welding shall be left in black state as manufactured, removing by suitable means, oil, rust, excessive scale, moisture etc., which are harmful for welding.

3.4 The test material shall be supported at both ends of the longitudinal direction and leaving a sufficient air space under the reverse face.

3.5 The temperature of test material just before welding shall be at the room temperature for No. 1 test specimen and the preheating temperature for No. 2 test specimen.

3.6 The welding condition shall, as a rule, conform to the following:

Welding current  $170 \pm 10$  A. Welding speed  $15 \pm 1$  cm/min.

3.7 No heat treatment whatever shall be permitted to the test specimen after welding.

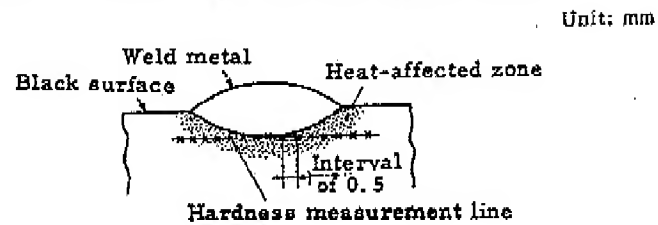
### 4. Measurement of Hardness

4.1 The taking of piece for measurement of hardness shall be made at least 12 hours after welding, and the measurement of hardness shall be made as soon as possible after taking the piece.

4.2 The piece for measurement of hardness shall be made at the room temperature by machine cutting the test specimen through the centre of the bead at right angle as indicated in Fig. 1, and one side of the cutting shall be used. Care should be taken at this time to see that the maximum hardness of measuring surface shall not be lowered by temperature rise during the process of cutting, which shall be prevented by cooling the surface.

4.3 The piece for hardness measurement shall be prepared after polishing and corroding the cut surface to enable macrostructure to see. As indicated in Fig. 2, the measurement of hardness at room temperature by Vicker's hardness tester under the load of 10 kg shall be made along the straight line at the bottom of weld metal parallel to the black surface in intervals of 0.5 mm. The measuring points shall be more than 7 at right and left respectively of the contact point, and let the the greatest of the measured value be the maximum hardness required.

Fig. 2. Particulars of Hardness Measurement



4.4 The equipment used for hardness measurement shall be specified in JIS B 7725-Vicker's Hardness Testers, and the other than those stipulated in 4.3 shall be accorded with JIS Z 2244-Method of Vicker's Hardness Test.

5. Recording

5.1 The hardness of each point measured must be recorded.

5.2 The temperature of test material just before welding, welding current, arc voltage and welding speed must be recorded.